

Tuŕei

č. 4
2020

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



**Profesionální
geotechnické
a inženýrskogeologické
služby pro realizaci
náročných
inženýrských
staveb s tradicí
od roku 1926**

- ▶ GEOTECHNIKA
- ▶ INŽENÝRSKÁ GEOLOGIE
- ▶ HYDROGEOLOGIE
- ▶ GEOTECHNICKÝ MONITORING
A TERÉNNÍ ZKOUŠKY
- ▶ GEOFYZIKA
- ▶ INŽENÝRSKÁ GEODÉZIE
- ▶ LABORATORNÍ ZKOUŠKY ZEMIN
A HORNIN
- ▶ VĚDA A VÝZKUM

SG Geotechnika je s více než 90letou tradicí největší a nejstarší geotechnickou konzultační společností v České republice. Zaměřujeme se na průzkumy, poradenství, supervize a zkušebnictví v oblasti inženýrských staveb zahrnujících zejména podzemní, dopravní a vodohospodářská díla. Prostřednictvím rozsáhlé lokální sítě působíme po celé České a Slovenské republice.



Podzemní stavby (vývoj, výzkum, navrhování, realizace)
Časopis České tunelářské asociace a Slovenské tunelářské asociácie ITA-AITES
Založen Ing. Jaroslav Gránem v roce 1992

OBSAH

Editorial:	
Ing. Libor Mařík, člen redakční rady	1
Úvodníky:	
Ing. Jaroslav Heran, generální ředitel Metrostav a.s.	2
Mgr. Lucie Bohátková, členka představenstva společnosti SG Geotechnika a.s.	3
Tunel Dýrafjarðargöng – do třetice	
Ing. Josef Malknecht, Metrostav a.s.	4
Geologický průzkum trasy metra I.D v Praze, úsek PAD4	
Václav Anděl, Ing. Miroslav Filip, Ing. Štefan Ivor, Metrostav a.s.	14
Realizace sekundárního ostění tunelu Prešov	
Ing. Jiří Břichňáč, Ing. Petr Hybský, Metrostav a.s., divize 5	22
Zkušenosti z geotechnického monitoringu ražeb železničního tunelu Deboreč	
Ing. Milan Kössler, Mgr. Aleš Videňský, SG Geotechnika a.s.	31
Metro I.D – současný stav geologických průzkumných prací na úsecích VO-OL a OL1	
Mgr. Jiří Tlamsa, Mgr. Radek Onysko, Bc. Jan Zemánek, SG Geotechnika a.s.	44
Vývoj optovláknových snímačů deformace pro geotechnický monitoring a příklady aplikací	
Ing. Marek Záleský, Ph.D., SG Geotechnika a.s., doc. Ing. Jan Záleský, CSc., katedra geotechniky, FSv ČVUT v Praze, Ing. Ladislav Šašek, CSc., SAFIBRA, s.r.o.	54
Fotoreportáž ze slavnostního proražení nového železničního tunelu Mezno dne 14. 8. 2020	63
Ze světa podzemních staveb	66
Zprávy z tunelářských konferencí	67
Aktuality z podzemních staveb v České a Slovenské republice	68
Z historie podzemních staveb	76
Rozloučení	79
Z činnosti pracovních skupin	81
Zpravodajství CzTA	81

REDAKČNÍ RADA / EDITORIAL BOARD

Čeští a slovenští členové / Czech and Slovak members

Předseda / Chairman: prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. – Stavební fakulta ČVUT v Praze
Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D. – GEOTest, a.s.
Ing. Miloslav Frankovský – STA
prof. Ing. Matouš Hilar, MSc., Ph.D., CEng., MICE – 3G Consulting Engineers s.r.o.
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc. – Fakulta stavební VUT v Brně
doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D. – VŠB-TU Ostrava
RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D. – PUDIS a.s.
Ing. Viktoriia Chomová – DOPRAVOPROJEKT, a.s.
Ing. Otakar Krásný – GeoTec-GS, a.s.
Ing. Jan Kušnír – REMING CONSULT a.s.
Ing. Libor Mařík – SAGASTA s.r.o.
Ing. Soňa Masarovičová – ŽU, Stavební fakulta
Ing. Miroslav Novák – METROPROJEKT Praha a.s.
doc. Dr. Ing. Jan Pruška – Stavební fakulta ČVUT v Praze
Ing. Boris Šebesta
Ing. Michal Šerák – Inženýring dopravních staveb a.s.
doc. Ing. Richard Šňupárek, CSc. – Ústav geoniky AV ČR, v.v.i.
Ing. Pavel Šourek – SATRA, spol. s r.o.

VYDAVATEL

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

DISTRIBUCE

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

REDAKCE

Koželužská 2450/4, 180 00 Praha 8-Libeň, 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
Grafické zpracování: Ing. Jiří Šilar DTP, Na Záměšli 502/3, 150 00 Praha 5
Tisk: SERIFA, s.r.o., Jionická 804/80, 158 00 Praha 5
Foto na obálce: Praha, doplňkový geologický průzkum trasy I.D, úsek VO-OL (archiv SG Geotechnika 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. Libor Mařík, Editorial Board Member	1
Ing. Jaroslav Heran, General Director of Metrostav a.s.	2
Mgr. Lucie Bohátková, Member of Board Directors of SG Geotechnika a.s.	3
Dýrafjarðargöng Tunnel – for the Third Time	
Ing. Josef Malknecht, Metrostav a.s.	4
Geological Survey of PAD4 Section of Metro ID Line in Prague	
Václav Anděl, Ing. Miroslav Filip, Ing. Štefan Ivor, Metrostav a.s.	14
Construction of Prešov Tunnel Secondary Lining	
Ing. Jiří Břichňáč, Ing. Petr Hybský, Metrostav a.s., divize 5	22
Experience from Geotechnical Monitoring of Deboreč Rail Tunnel Excavation	
Ing. Milan Kössler, Mgr. Aleš Videňský, SG Geotechnika a.s.	31
Metro ID – Current Condition of Geological Survey for VO-OL And OL1 Sections	
Mgr. Jiří Tlamsa, Mgr. Radek Onysko, Bc. Jan Zemánek, SG Geotechnika a.s.	44
Development of Optical Fibre Strain Sensors for Geotechnical Monitoring and Examples of Applications	
Ing. Marek Záleský, Ph.D., SG Geotechnika a.s., doc. Ing. Jan Záleský, CSc., katedra geotechniky, FSv ČVUT v Praze, Ing. Ladislav Šašek, CSc., SAFIBRA, s.r.o.	54
Picture Report from Ceremonial Breakthrough of Mezno Rail Tunnel on 14th September 2020	63
The World of Underground Constructions	66
News from Tunnelling Conferences	67
Current News from the Czech and Slovak Underground Construction	68
From the History of Underground Constructions	76
Last Farewell	79
CzTA Working Groups	81
CzTA reports	81

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.

Zahraniční 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. Dimitrios Kolymbas – UNIVERSITY OF INNSBRUCK, Austria
Prof. In-Mo Lee – KOREA UNIVERSITY, South Korea
Prof. Daniele Peila – POLITECNICO DI TORINO, Torino, Italy
Prof. Wulf Schubert – GRAZ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Austria
Prof. Ove Stephansson – GFZ Potsdam, Germany
Prof. Walter Wittke – WBI GmbH, Germany

PUBLISHED FOR SERVICE USE

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

DISTRIBUTION

ITA-AITES Member Nations
ITA-AITES EC members
CzTA and STA corporate and individual members
external subscribers
obligatory issues for 35 libraries and other subjects

OFFICE

Koželužská 2450/4, 180 00 Praha 8-Libeň, phone: +420 702 062 610
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
Graphic designs: Ing. Jiří Šilar DTP, Na Záměšli 502/3, 150 00 Praha 5
Printed: SERIFA, s.r.o., Jionická 804/80, 158 00 Praha 5
Cover photo: Prague, supplementary geological survey of the metro ID line, section VO-OL (SG Geotechnika a.s. archive)

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

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

ČZTA:

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.
Ptašinského 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

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

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

Fakulta dopravní ČVUT v Praze
Konviktská 20
110 00 Praha 1

Fakulta stavební ČVUT v Praze
Thákurova 7
166 29 Praha 6

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

Fakulta stavební VUT v Brně
Veveří 331/95
602 00 Brno

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

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.
Branická 514/140
Praha 4 – Braník

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

METROPROJEKT Praha a. s.
Argentinská 1621/36
170 00 Praha 7

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

Mínova 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 – Veverčí

POHL cz, a.s.
Nádražní 25
252 63 Rostoky 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

PUDIS a.s.
Podbabská 1014/20
160 00 Praha 6

ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR
Čerčanská 12
140 00 Praha 4

SAGASTA s.r.o.
Novodvorská 1010/14
142 00, Praha 4 – Lhotka

SAMSON PRAHA, spol. s r. o.
Týnská 622/17
110 00 Praha 1

SATRA, spol. s r.o.
Pod pekárnami 878/2
190 00 Praha 9 – Vysočany

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

SPRÁVA ÚLOŽIŠTÍ
RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ
Dlážděná 1004/6
110 00 Praha 1 – Nové Město

STRABAG a.s.
Kačírkova 982/4
158 00 Praha 5

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.
Thámová 181/20
186 00 Praha 8

STA:

Čestní členovia:

doc. Ing. Koloman V. Ratkovský, CSc. (†)
Ing. Jozef Frankovský
Ing. Štefan Choma
prof. Ing. František Klepsatel, CSc. (†)
Ing. Juraj Keleši
Ing. Pavol Kusý, CSc.

Členské organizácie:

Alfa 04 a.s.
Jašíkova 6
821 07 Bratislava

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

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

BASF Slovensko, spol. s r.o.
Einsteinova 23
851 01 Bratislava

Basler & Hofmann Slovakia, s.r.o.
Panenská 13
811 03 Bratislava

Cognitio, s. r. o.
Rubínová 3166/18
900 25 Chorvátsky Grob

Doprastav, a.s.
Drieňová 27
826 56 Bratislava

DOPRAVOPROJEKT, a.s.
Kominárska 141/2,4
832 03 Bratislava

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

Geoconsult, spol. s r.o.
Tomášikova 10/E
821 03 Bratislava

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

GEOstatik a.s.
Kragujevská 11
010 01 Žilina

HOCHTIEF SK, s. r. o.
Miletičova 23
821 09 Bratislava

HYDROSANING spol.s.r.o.
Poľnohospodárov 6
971 01 Prievidza

CHÉMIA – SERVIS, a.s.
Zadunajská cesta 10
851 01 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

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

Národná diaľničná spoločnosť, a.s.
Dúbravská cesta 14
841 04 Bratislava

Niedax, s. r. o.
Pestovateľská 6
821 04 Bratislava

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

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

Reming Consult a.s.
Trnavská 27
831 04 Bratislava

Renesco a.s.
Panenská 13
811 03 Bratislava

Sika Slovensko, spol. s r.o.
Rybničná 38/e
831 07 Bratislava

SKANSKA SK, a.s. závod tunely
Košovská cesta 16
971 74 Prievidza

Slovenská správa ciest
Miletičova 19
826 19 Bratislava

SLOVENSKEJ 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 4963/56
821 05 Bratislava

STU, Stavebná fakulta
Katedra geotechniky
Radlinského 11
813 68 Bratislava

TAROSI c.c., s.r.o.
Madáchova 33
821 06 Bratislava

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

TUBAU, a.s.
Pribylinská 12
831 04 Bratislava

TuCon, a.s.
K Cintorinu 63
010 04 Žilina – Bánová

Tunguard s.r.o.
Osloboditeľov 120
044 11 Trstené pri Hornáde

Uranpres, spol. s r.o.
Čapajevova 29
080 01 Prešov

Ústav geotechniky SAV
Watsonova 45
043 53 Košice

VÁHOSTAV – SK, a.s.
Priemyselná 6
821 09 Bratislava

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

Milé čtenářky, vážení čtenáři,

toužit po něčem, co nám chybí, patří k charakteristickým lidským vlastnostem. Po letním optimistickém vydechnutí z jarního sevření pandemií se opět uchylujeme k neosobní on-line komunikaci, potykáme se s omezenými možnostmi setkávání a toužíme po ztraceném lidském kontaktu. Společenský život se prakticky zastavil, ruší se semináře i léty zaběhnuté konference, možnost výměny názorů i zkušeností je čím dál těžší. V tuto chvíli se více než kdy jindy ukazuje, jaký význam má náš časopis Tunel jako platforma pro sdílení odborných informací ze světa podzemních staveb. Určité omezení přístupu k informacím zaostřuje i pohled na obsah článků a klade zvýšené nároky na autory. Kromě základních informací o projektu či realizaci tunelu čtenář hledá zajímavosti z oblasti neobvyklých technických řešení nebo postupů výstavby, porovnání geotechnické prognózy s realitou nebo popis řešení neočekávaných situací. Tyto informace dělají článek zajímavým, zvyšují jeho informační hodnotu i autorovu či firemní prestiž. V přeloženém čísle časopisu Tunel se tento záměr myslím podařilo naplnit. Články poskytují informace o podzemních stavbách z domova i ciziny, popisují průzkumná díla připravované trasy D pražského metra, ražbu dálničního nebo železničního tunelu i praktické využití moderních technologií při provádění geotechnického monitoringu.

První článek poutavým způsobem popisuje výstavbu silničního tunelu Dýrafjarðargöng na Islandu. Uvádí komplexní informace o způsobu výběrového řízení, logistice, dosažených postupech ražby při použití metody Drill&Blast a popisuje technické řešení tunelu v pro nás ne zcela typických geologických poměrech. U článků týkajících se průzkumných děl pro metro D v Praze je patrný rozdílný pohled zhotovitele a geotechnika. V článku popisujícím ražbu průzkumných děl v úseku PAD4 se autoři z firmy Metrostav a.s. zaměřují spíše na problematiku výstavby, zatímco druhý článek z úseků VO-OL a OL1 autorů z firmy SG Geotechnika a.s. uvádí kromě základních technických informací o ražbě zejména popis prováděných měření a sledování k získání inženýrskogeologických, strukturních a geotechnických charakteristik horninového prostředí. Ražbou dálničních a železničních tunelů se zabývají články o dálničním obchvatu Prešova na Slovensku a dvoukolejném železničním tunelu Deboreč na IV. železničním koridoru v úseku Sodoměřice – Votice. V případě tunelu Prešov je poskytnuta informace o provádění sekundárního ostění, vozovky a přípravy na montáž technologického vybavení. U železničního tunelu Deboreč se autoři zaměřují na geotechnické problémy v průběhu ražby a jejich řešení. Tematicky široké spektrum nového vydání časopisu doplňuje článek popisující využití optovláknových snímačů při geotechnickém monitoringu primárního ostění na trase V.A pražského metra.

Všem čtenářům a příznivcům podzemních staveb přeji klidný podzim, pohodové chvíle při čtení časopisu, a i přes ubývající denní světlo schopnost vždy najít a vidět světlo na konci tunelu.

Ing. LIBOR MAŘÍK,
člen redakční rady

Dear readers,

Yearning for something we are missing belongs among characteristic human traits. After the summer optimistic exhalation from the spring grip of pandemics, we are once again resorting to impersonal online communication. We are facing limited opportunities to meet and are longing for lost human contacts. Social life has virtually stopped, seminars and years established conferences are being cancelled, the possibility of exchanging opinions and experience is becoming more and more difficult. At the moment more than at another time, the importance of our journal as a platform for sharing professional information from the world turns out. Certain restrictions on access to information focuses also viewing of the content of papers and places increased demands on their authors. Apart from basic information about a project or implementation of a project, readers seek interesting things from the field of unusual technical solutions or construction procedures, comparisons of geotechnical prognoses with reality or descriptions of solutions to unexpected situations. This information makes the paper interesting, increase its informative value as well as author's or company prestige. I believe this intention has been fulfilled in the TUNEL journal issue submitted to you. The papers provide information on underground construction projects, both domestic and foreign, describe exploratory work on the Prague Metro Line D being prepared, the excavation of a motorway or railway tunnel and practical use of modern techniques and equipment used for conducting geotechnical monitoring.

The first paper describes in an arresting way the construction of the Dýrafjarðargöng tunnel in Iceland. It presents comprehensive information about the system of the tendering process, logistics, excavation advance rates achieved using the Drill&Blast method and describes the technical solution to the tunnel in geological conditions which are not typical for us. Regarding the papers relating to survey workings for Metro D Line in Prague, there are different contractor's and geotechnician's opinions visible. In the paper describing the excavation of survey workings in the PAD4 section, the authors from the company of Metrostav a.s. focus more on problems of the construction, whilst the second paper from the VO-OL and OL1 sections by authors from the company of SG Geotechnika a.s. present, apart from basic technical information on the excavation, in particular description of the measurements and monitoring required to obtain engineering geological, structural and geotechnical characteristics of the ground environment. The excavation of motorway and railway tunnels is the topic of papers on the motorway by-pass of Prešov in the Slovak Republic and on the Deboreč double-track rail tunnel on the railway corridor No. 4 in the Sodoměřice – Votice section. In the case of the Prešov tunnel, information is provided on the construction of the secondary lining, the roadway and preparation for installation of tunnel equipment. Regarding the Deboreč tunnel, the authors focus the geotechnical problems encountered during the construction and their solutions. The thematically wide range of issues of the journal is supplemented by an article describing the use of optical fibre sensors in geotechnical monitoring of the primary lining on the V.A line of the Prague metro.

I wish all readers and supporters of underground construction a peaceful autumn, relaxing moments while reading the journal, and despite the diminishing daylight, the ability to always find and see the light at the end of the tunnel.

Ing. LIBOR MAŘÍK,
Member of Editorial Board



VÁŽENÍ ČTENÁŘI,

je mi ctí, že mohu při příležitosti, kdy Metrostav dovršuje významné jubileum, na stránkách tohoto časopisu uvést příspěvky svých kolegů, ve kterých představujeme naše aktuálně realizované tunelové stavby.

Dovolte, abych v úvodu jen krátce představil sebe. V Metrostavu působím v různých pozicích již od roku 1989 a od letošního 1. července jsem převzal štafetu vedení naší společnosti po dlouholetém generálním řediteli panu Ing. Pavlu Pilátovi. Ačkoliv nejsem původní specializací tunelář, a ani dnes bych si nedovolil vydávat se za odborníka v této specializaci, přece jenom není možné působit přes 30 let v Metrostavu a k tomuto oboru nezískat bližší vztah. Takže s hlubokým respektem k řemeslu a k těm, kteří ho opravdu ovládají, dovolím si uvést toto číslo časopisu Tunel krátkým zavzpomínáním na hlavní milníky v historii Metrostavu, které souvisely s podzemním stavitelstvím. Dne 1. ledna 2021 to bude již 50 let od okamžiku, kdy se Metrostav vyčlenil z národního podniku Vodní stavby. Již v roce 1974 byla slavnostně uvedena do provozu první trasa I.C pražského metra Florenc – Kačerov a v říjnu roku 1976 podešel mechanizovaný štít TŠĚB-3 Metrostavu poprvé Vltavu na trase I.A. V roce 1983 jsme se stali členem Mezinárodní tunelářské asociace ITA/AITES. V roce 1991 došlo k transformaci státního podniku na akciovou společnost. Od roku 1997 realizujeme ražbu tunelů technologií NRTM. Rok 2006 byl přelomový z pohledu našeho působení v zahraničí zahájením ražby tunelů v Chorvatsku a na Islandu. Od roku 2010 je Metrostav řídicím členem koncernu, jehož součástí tvoří i Subterra a.s. a BeMo Tunnelling GmbH. V roce 2011 jsme zahájili novou éru mechanizovaného tunelování v České republice na trase V.A pražského metra a poté na železničních tunelech Ejpvovice. Metrostav je dnes univerzální stavební společností, která působí ve všech segmentech stavebního trhu, nicméně své tunelářské kapacity a dovednosti považujeme za rodinné stříbro, které chceme chránit a rozvíjet.

Metrostav dlouhodobě vyvíjí systematické úsilí směřující k zachování a rozvoji vlastních výrobních kapacit. Je to cesta pracná, bez rychlých efektů, ale podle mého mínění jediná dlouhodobě správná. Úzce spolupracujeme s odbornými učilišti, středními i vysokými školami, a to nám již mnohokrát přineslo své ovoce. V posledních obdobích naše úsilí bohužel ohrožuje a máří tragický nedostatek tunelových projektů v České republice. Stavby našich kmenových zaměstnanců v tomto oboru jsme již několikrát museli redukovat a tato situace nedává příliš prostoru k systematické výchově nových generací dělníků a techniků, kteří v budoucnu budou oboru chybět.

Kvůli nepřilíživé povzbudivé situaci na domácím trhu byl Metrostav nucen pokusit se uspět na zahraničních trzích, kde již několik let uplatňuje část svých razičských kapacit. Střelka našeho tunelářského kompasu míří především na sever. Na Islandu jsme v letošním roce úspěšně zprovoznili již třetí projekt silničních tunelů, ve Finsku jsme v nedávné době dostavěli další úsek prodloužení linky metra v Helsinkách a s touto stavbou se budeme ucházet o titul Zahraniční stavba roku 2020. Celou řadu norských silničních tunelů jsme na našem letos dokončovaném projektu přeložky silnice Fv. 714 nedaleko Trondheimu „okořenili“ také 735 m dlouhým mostem klenoucím se nad mořským fjordem.

Závěrem chci poděkovat svým kolegům, jejichž práci v tomto časopise představujeme. Nám všem pak přeji, kromě řady nových zajímavých tunelových projektů v České republice, především mnoho osobních i pracovních úspěchů a pevně zdraví i v dnešní problematické „kovidové“ době.



Ing. JAROSLAV HERAN,

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

DEAR READERS,

I am honoured to be allowed to present papers of my colleagues in which we introduce our tunnelling projects currently under construction on the pages of this journal at the moment when Metrostav crowns a significant anniversary.

Let me introduce myself only briefly in the introduction. I have been working with Metrostav in various positions already since 1989 and, since July 1 this year, I have taken over the baton of the management of our company from Ing. Pavel Pilát, a long-time general director of the company. Even though my original specialisation is not tunnelling and I would not dare to pass myself off as an expert in this specialisation, it is still not possible to work for over 30 years in Metrostav and not gain a closer relationship with this field. So with a deep respect for the profession and for those who really master it, I would like to introduce this issue of TUNEL journal with a brief recollection of the main milestones in the history of Metrostav that were related to underground construction. On 1st January 2021, it will be 50 years since Metrostav separated from the national enterprise Vodní stavby. It was already in 1974 that the first line IC of the Prague metro between Florenc and Kačerov was ceremonially put into operation and, in October 1976, Metrostav's mechanized shield TŠĚB-3 passed under the Vltava for the first time on the IA metro line. In 1983, we became members of the International Tunnelling Association ITA/AITES. In 1991, the state enterprise was transformed to a joint-stock company. Since 1997, we use the NATM technique for construction of tunnels. The year 2006 was a turning point in terms of our operations abroad by commencing excavation of tunnels in Croatia and Iceland. Since 2010, Metrostav is a controlling member of a concern the parts of which are also Subterra a.s. and BeMo Tunnelling GmbH. In 2011, we started a new era of mechanised tunnelling in the Czech Republic on the line VA of Prague metro and, subsequently, on the Ejpvovice rail tunnels. Metrostav is today a universal construction company operating in all segments of the construction market, nevertheless, we consider our tunnelling capacities and skills to be family silver which we want to protect and develop.

Metrostav has been making long-term systematic efforts focused on maintaining and developing its own production capacities. This way is laborious, without quick effects, but in my opinion the only one that is right in the long run. We cooperate closely with vocational schools, high schools and universities, and it has already borne fruit for us many times. Unfortunately, in recent periods, our efforts have been threatened and spoiled by the tragic shortage of tunnel construction projects in the Czech Republic. We have already had to reduce the numbers of our permanent employees working in this field several times, and this situation does not leave much room for the systematic education of new generations of workers and technicians, who will be missing in the field in the future.

Due to the not too much encouraging situation on the domestic market, Metrostav was forced to try to succeed on foreign markets, where it has been using part of its tunnel excavation capacities already for several years. The needle of our tunnellers' compass is aimed first of all at the north. In Iceland, we have successfully finished the already third road tunnel construction project of road tunnels, in Finland, we have recently completed another section of the extension of the Helsinki metro and we will apply for the title of the Foreign Construction of the Year 2020 with this construction. We have "spiced" the wide number of Norwegian road tunnels in the case of the Fv. 714 road, being finally relocated near Trondheim, by adding a 735m long bridge arching over a sea fjord.

To conclude, I want to thank my colleagues whose work we introduce in this journal. I wish all of us, apart from a number of new interesting tunnel construction projects in the Czech Republic, above all lots of personal and professional success and good health even in today's problematic „Covid“ period.

VÁŽENÉ KOLEGYNĚ A KOLEGOVÉ, ČTENÁŘI ČASOPISU TUNEL,

píšu tento úvodník, tak jako ostatní autoři, v turbulentním roce 2020, který začal jako rok, který měl být podobný tomu předchozímu, jen s lepšími vyhlídkami v oblasti podzemního stavitelství.

Naše firma SG Geotechnika a.s. v roce 2020 dokončila podrobný geologický průzkum pro D35 Opatovec – Staré Město, 2. úsek – tunel Dětrichov. Jedná se o budoucí nejdelší český dálniční tunel o délce 3 983 m, který je navržen ve formě dvou ražených dvoupruhových tubusů. Do výstavby by tento tunel měl jít v roce 2023.

Současně se podílíme na obou běžících tunelových projektech v ČR, a to jak na tunelech Mezno a Deboreč, kde provádíme geotechnický monitoring, tak na geologickém průzkumu formou podzemních děl na trase metra I.D, kde jsme odpovědnými řešiteli geologických prací na částech OL1 a VO-OL. V současné době (říjen 2020) je již odevzdána závěrečná zpráva úseku OL1 a naše geologické práce probíhají na části VO-OL. Na Slovensku, prostřednictvím naší dceřiné firmy Geofos, provádíme geotechnický monitoring trasy na úseku D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka s tunely Ovčiarisko a Žilina a stejné činnosti provádíme na stavbě D1 Prešov západ – Prešov juh. Fungujeme také jako součást týmu stavebního dozoru tunelu Čebrať.

Dalším významným počinem na poli tunelářském bylo vypsání soutěže na výstavbu „Provozní úsek I.D pražského metra – úsek Pankrác – Olbrachtova, stavební část“ a stejně tak na „Komplexní geotechnický monitoring a pasportizaci“ pro stejnou stavební část. Obě soutěže bohužel po námitkách stěžovatelů skončily na Úřadu pro ochranu hospodářské soutěže (ÚHOS), kde v případě stavební části úřad nařídil Dopravnímu podniku hlavního města Prahy (DPP) neuzavírat smlouvu s vítězem a v případě soutěže na geotechnický monitoring uložil nápravné opatření spočívající ve zrušení soutěže. Proti oběma rozhodnutím může podat DPP rozklad. Kvůli námitkám a rozhodnutím ÚHOS dojde bohužel k velkému zpoždění tohoto, pro Prahu, významného projektu. Je velká škoda, že se při veřejných soutěžích nedokážeme řídit známým heslem „Sláva vítězům a čest poraženým“. Přejí tomuto důležitému projektu úspěch a doufám, že se zadavateli podaří soutěž dotáhnout do zdárného konce a projekt rozběhnout.

Když se vrátím k nám nejbližšímu zahraničnímu trhu, a to slovenskému, ani tam dnes není situace na poli tunelářském úplně nejlehčí. V roce 2020 běží dva tunelové projekty, a to průzkumné dílo tunelu Čebrať na úseku Hubová – Ivachnová dálnice D1 a ražba tunelů Bikoš na rychlostní silnici R4 severního obchvatu Prešova. V současné době také není rozhodnuto o formě dokončení nejdelšího slovenského tunelu Višňové (délka 7 520 m) na úseku dálnice D1 Lietavská Lúčka – Dubná Skala. I na slovenském trhu se tedy potýkají s podobnými problémy nedokončených soutěží.

Doufám, že v následujících letech budeme mít možnost dále dokazovat, že české podzemní stavitelství je na vysoké úrovni a je schopno řešit i ty nejsložitější úkoly tohoto oboru. Přejme si také, aby český stát, který je největším investorem velkých infrastrukturních staveb na našem území, nenechal v tomto roce ani v letech příštích náš obor zahynout a my nebyli nuceni uplatňovat své kapacity v zahraničí.

Ve vleku opatření proti koronaviru věřím, že budeme moci pořádat setkání a konference pro výměnu informací a rozšiřování si našich znalostí a že se nedožijeme éry, kdy budeme razit tunely on line.

S hornickým Zdař Bůh vám všem a českému tunelovému stavebnictví zvlášť přeji vše nejlepší, mnoho úspěchů a hlavně hodně zdraví.



DEAR COLLEAGUES, TUNEL JOURNAL READERS,

I am writing this editorial, like the other authors, in the turbulent year 2020, which began as a year that was expected to be similar to the previous one, only with better prospects in the field of underground construction.

In 2020, our company SG Geotechnika a.s. finished a detailed geological survey for the D35 motorway construction project Opatovec – Staré Město, Section 2 – Dětrichov Tunnel. It is the future longest Czech motorway tunnel, with the length of 3983m. It is designed in the form of two mined double-lane tunnel tubes. The construction of this tunnel is expected to commence in 2023.

At the same time, we participate in both tunnel projects currently under construction in the Czech Republic, the Mezno and the Deboreč, where we perform geotechnical monitoring and geological survey in the form of underground workings on the Metro I.D route, where we are in the position of responsible solvers of geological survey tasks on OL1 and VO-OL parts. Currently (October 2020), the final report on the OL1 section has already been submitted to the client and our geological operations are underway in the VO-OL part. In Slovakia, we conduct geotechnical monitoring through our daughter company Geofos. We carry out geotechnical monitoring in the Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka section of the D1 motorway with the Ovčiarisko and Žilina tunnels and the same activities are performed on the D1 Prešov, West – Prešov, South construction site. In addition, we operate as a part of the construction supervising team on the Čebrať tunnel.

Invitations to tender for a contract for construction of “Operating section I.D of Prague metro – Pankrác – Olbrachtova section, civil works” and “The comprehensive geotechnical monitoring and condition survey” for the same construction part was another significant deed in the field of tunnel construction. Unfortunately, both tender proceedings ended, after the arguments were advanced by complainants at the Office for the Protection of Competition, where the Office ordered the Prague Public Transit Company Inc. not to conclude a contract with the winner in the case of the civil works and imposed a remedy consisting in the cancellation of the competition in the case of the tender for geotechnical monitoring. The Prague Public Transit Company can file a disquisition against both decisions. Thanks to the objections and the decisions of the Office for the Protection of Competition, there will be a long delay of this project so important for Prague. It is a great pity that we cannot follow the well-known motto „Glory to the winners and honour to the losers“ in public competitions. I wish this important project success. I hope that the contracting authority will be able to bring the competition to a successful end and get the project underway.

When I return to our nearest foreign market, the Slovak one, the situation in the field of tunnelling is not entirely easiest even there. In 2020, two tunnel projects are underway, namely the survey workings on the Čebrať tunnel in the Hubová – Ivachnová section of the D1 motorway and the excavation of the Bikoš tunnels on the northern by-pass of Prešov, the R4 fast highway. At present, the decision on the form of completion of the longest Slovak tunnel, the Višňové (7520m long), in the Lietavská Lúčka – Dubná Skala section of the D1 motorway has not been made yet. It means that similar problems of unfinished competitions are faced even on the Slovak market.

I hope that we will have the opportunity to further prove that the Czech underground construction industry is at a high level and is capable of solving the most difficult tasks of this industry even in the coming years. Let us also hope that the Czech state, which is the largest client for large infrastructure projects in our territory, will not let our industry perish this year or in the years to come, and that we will not be forced to use our capacities abroad.

Despite anti-coronavirus measures, I believe that we will be allowed to organise meetings and conferences for exchanging information and expanding our knowledge, and that we will not live to see the era of online tunnelling.

With the miners' God speed you I wish you all and especially the Czech tunnel construction industry all the best, lots of success and, most importantly, good health.

Mgr. LUCIE BOHÁTKOVÁ

*členka představenstva společnosti
SG Geotechnika a.s.*

*Member of Board Directors
of SG Geotechnika a.s.*

TUNEL DÝRAFJARÐARGÖNG – DO TŘETICE DÝRAFJARÐARGÖNG TUNNEL – FOR THE THIRD TIME

JOSEF MALKNECHT

ABSTRAKT

Článek popisuje jediný islandský tunelový projekt, který je momentálně ve výstavbě – Dýrafjarðargöng. Po svém dokončení zajistí bezproblémové zimní spojení sousedních fjordů (Arnarfjörður a Dýrafjörður), a tím i v zimě oddělených komunit západních fjordů. Práce realizuje stavební společnost Metrostav a.s. ve sdružení s islandskou firmou Suðurverk hf. od června 2017. Přestože se nejedná o nejdelší islandský tunel, odlehlost místa výstavby jej řadí mezi nejsložitější. Příspěvek se zaměřuje na popis ražeb (Drill&Blast), zastiženou geologii a strojní sestavu (včetně opatření nutných kvůli nedostupnosti servisů). Rozebírá velmi dobré výkony, které se řadí mezi nejlepší dosažené nejen na Islandu, ale i v celé Skandinávii. Zmiňuje logistické problémy a opatření ke zvládnutí složité situace během první zimy, kdy byly příjezdové cesty k jižnímu portálu průjezdné maximálně několik dní každé čtyři týdny. Popisuje i aplikaci finálního ostění a izolaci proti vodě a mrazu.

ABSTRACT

The paper describes the only tunnel construction project currently under construction in Iceland – the Dýrafjarðargöng. After its completion, it will provide problem-free winter connection of neighbouring fjords (Arnarfjörður and Dýrafjörður), and thus also communities of western fjords separated in winter. The construction is carried out by Metrostav a.s. in consortium with the Icelandic company Suðurverk hf. since June 2017. Although it is not the longest Icelandic tunnel, the remoteness of the construction site ranks it among the most complicated. The paper is focused on description of the underground excavation method (Drill&Blast), the geology encountered and the tunnelling equipment set (including measures necessary due to unavailability of services). It discusses the very good performance, which ranks it among the best achieved not only in Iceland, but also in the entire Scandinavia. It mentions logistic problems and measures to deal with the difficult situation during the first winter, when the access roads to the southern portal were passable for a maximum of several days every four weeks. It, in addition, describes the installation of the final lining and the waterproofing and frostproofing.

ÚVOD

V září roku 2017 zahájila stavební společnost Metrostav a.s. ve sdružení s islandskou společností Suðurverk hf. ražby silničního tunelu Dýrafjarðargöng na Islandu. Tento projekt je již v pořadí třetí velkou stavební zakázkou Metrostavu a.s. na Islandu. První zakázkou byla mezi lety 2006–2010 výstavba dvou silničních tunelů Héðinsfjarðargöng s celkovou délkou ražeb 10 575 m. Druhým projektem se stal v letech 2013–2017 silniční tunel Norðfjarðargöng. Slavnostní otevření tohoto tunelu proběhlo 11. 11. 2017 a se svou raženou délkou 7 566 m se tak stal nejdelším silničním dvoupruhovým tunelem na Islandu. Aktuální projekt Dýrafjarðargöng je se svou raženou délkou 5 301 m sice nejkratším ze všech tří, ale vzhledem k odlehlosti místa, na kterém se realizuje, rozhodně nenejjednodušším. Po dokončení tohoto projektu bude celková realizovaná délka ražeb na Islandu provedená společností Metrostav a.s. od roku 2006 přesahovat 23 km.

Hlavním účelem tohoto projektu je zajištění bezproblémového a na údržbu nenáročného spojení mezi fjordy Dýrafjörður a Arnarfjörður v západním Islandu (obr. 1), a tím vytvoření alternativní zimní trasy mezi „hlavním městem“ západních fjordů Ísafjörðurem a Reykjavíkem. Stávající trasa bude zkrácena o necelých 30 km a nahradí tak nedostačující nezpevněnou cestu vedoucí přes hřbet Hrafnseyrarheiði s převýšením více než 500 m. V zimním období, které v dané oblasti trvá více než 6 měsíců v roce, je cesta uzavřena pro veškerou dopravu.

Jako v případě předcházejících dvou projektů, je i tentokrát zadavatelem islandská státní organizace Vegagerðin (obdoba českého ŘSD), která v roce 2016 vypsal veřejné výběrové řízení. To bylo vypsáno podle islandských standardů ÍST 30:2012 (islandská obdoba červeného FIDIC) jako dvoukolové. První kolo proběhlo

INTRODUCTION

In September 2017, the construction company of Metrostav a.s., in consortium with the Icelandic company of Suðurverk hf., commenced the excavation of the Dýrafjarðargöng road tunnel in Iceland. This project is already the third large construction contract of Metrostav a.s. in Iceland. The first contract was implemented between 2006–2010, for construction of two Héðinsfjarðargöng road tunnels with the total excavation length of 10,575m. The Norðfjarðargöng road tunnel project in 2013–2017 was the subject of the second contract. The ceremonial opening of this tunnel took place on 11 November 2017 and the tunnel with its excavation length of 7,566m became the longest double-lane tunnel in Iceland. The current Dýrafjarðargöng tunnel with its mined length of 5301m is the shortest of all three tunnels, but it definitely is not the simplest. After completion of this project, the overall length of tunnel excavation completed in Iceland by Metrostav a.s. since 2006 will exceed 23km.

The main objective of this project is to provide problem-free and not demanding in terms of maintenance connection between Dýrafjörður and Arnarfjörður fjords in western Iceland (see Fig. 1) and thus an alternate connection between Ísafjörður, the “capital” of the western fjords, and Reykjavik. The length of the existing route will be reduced by less than 30km and the route will replace the unpaved road leading across the Hrafnseyrarheiði crest with the difference in elevations of over 500m. In winter periods, which last in the area longer than 6 months a year, the road is closed for all traffic.

As in the case of the previous two projects, the organisation of Vegagerðin (similar to Czech Roads and Motorways Directorate) has again the role of the contracting authority. It issued a public call for bids in 2016. It was issued as a two-round competition, in compliance with Icelandic standards ÍST 30:2012 (Icelandic



Obr. 1 Mapa oblasti
Fig. 1 Area map

formou prequalifikace jednotlivých uchazečů. Jediným kritériem druhého kola výběrového řízení byla nejnižší nabídnutá cena. Ve finále se ho zúčastnilo celkem pět společností, mezi kterými byly stavební firmy z Norska, Islandu, Dánska, ale také z Itálie.

Přípravné stavební práce předcházející vlastním ražbám tunelu byly zahájeny v červenci 2017, přičemž smluvní termín na předání hotového díla je stanoven na říjen 2020.

Stavebním dozorem byly pověřeny firmy Geotek ehf. a Efla ehf. Oficiálním jazykem projektu je islandština.

GEOLOGIE

Island se nachází v severní části Atlantického oceánu, tam kde se sbíhá divergentní deskové rozhraní středoatlantského hřbetu mezi euroasijskou a severoamerickou deskou a plášťový diapir. Podmořskými segmenty středooceánského hřbetu nejbližší k Islandu je hřbet Reykjanes na jihu a hřbet Kolbeinsey na severu. Zde dochází k rozpínání a růstu zemské kůry s rychlostí asi 2 centimetry za rok. Západní fjordy byly podle K-Ar datování (tj. kalium-argonové metody) vytvořeny v období před 10 až 16 miliony lety. Během tohoto období mladších třetihor vznikly zdejší bazaltové formace, jejichž obecný sklon je nyní subhorizontální. Bazalty jsou různého typu, nejčastěji tholeitické a olivinické, jemno až středně zrné, šedé barvy. Jednotlivé bazaltové vrstvy mají často ve svém podloží i nadloží skorii nebo skoriový bazalt.

Tunel se ráží v horském hřebenu mezi nejnvtitnějšími konci fjordů Dýrafjörður a Arnarfjörður. Ten je tvořen relativně dobře stratifikovanými bazaltovými horninami, které jsou proloženy sedimentárními vložkami. Horniny jsou subhorizontálně uloženy směrem

equivalent to the Czech FIDIC Red Book). The first round took place in the form of prequalification of individual competitors. The only criterion of the second round of the tender was the lowest bid. In the final the total of five companies, with construction companies from Norway, Iceland, Denmark, but also Italy among them, took part in it.

Preliminary work operations preceding the tunnel excavation commenced in July 2017, while the contractual deadline for handing the completed works over is set for October 2020.

The contract for construction supervision was concluded with the companies of Geotek ehf. and Efla ehf. Icelandic is the official language for the project.

GEOLOGY

Iceland is located in the northern part of the Atlantic ocean, where the divergent boundary of the Mid-Atlantic Ridge between the Eurasian Plate and the North American Plate converges with the mantle diapir. The Reykjanes ridge in the south and the Kolbeinsey ridge in the north are the submarine segments of the mid-ocean ridge closest to Iceland. Here the Earth's crust expands and grows at a rate of about 2 centimetres per year. According to the K-Ar dating (i.e. the kalium-argon method), the western fjords were formed in the period before 10 to 16 million years. The local basaltic formations, the general dip of which is currently sub-horizontal, developed during this Later-Tertiary period. There are various types of basalt there, most frequently tholeiitic and olivinitic, fine- to medium-grained, grey. Individual basalt layers have frequently scoriae or scoriaceous basalt in their roof and basement.

The tunnel is being driven through a mountain ridge between the



Obr. 2 Portál Dýrafjörður
Fig. 2 Dýrafjörður portal

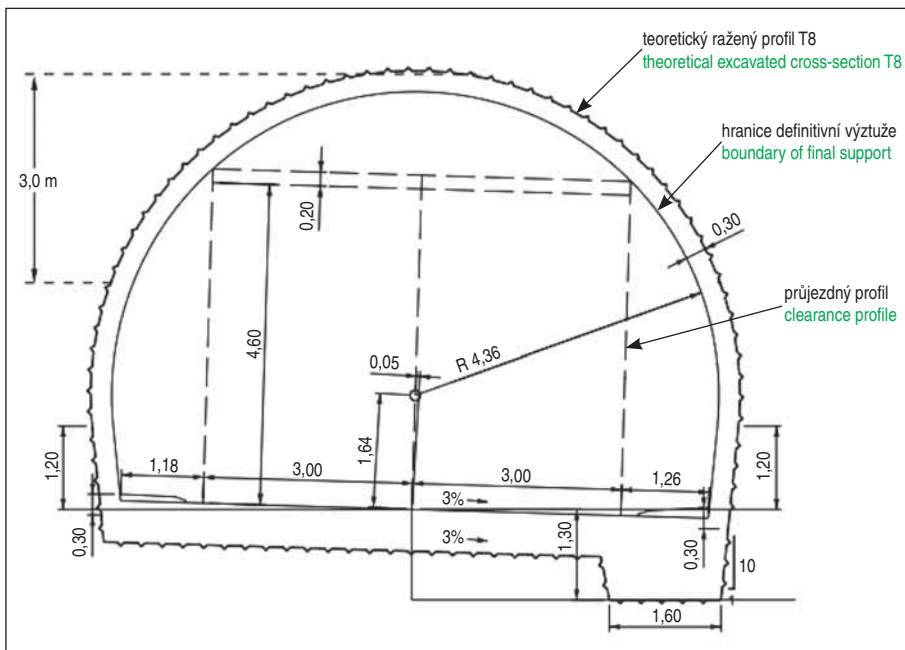


Obr. 3 Sedimentární vložka sestupuje od stropu
Fig. 3 Sedimentary interlayer descending from the excavation roof

innermost ends of the Dýrafjörður fjord and the Arnarfjörður fjord. The ridge is formed by relatively well stratified basalt rock, which is interlayered by sedimentary rock. The rock dips sub-horizontally, trending south-east. The basalt lava consists mostly of porphyritic basalt. The usual thickness ranges from 5 to 15 metres.

A number of true veins, but relatively few faults were encountered on the tunnel excavation side from Arnarfjörður. The thickness of the true veins is very variable. They usually consist of parallel vertical layers of repeated magmatic intrusions along the tectonic lineament. From the side of Dýrafjörður, the frequency of true veins was small. The average thickness of sedimentary interlayers on the side of the excavation from Arnarfjörður amounted to 0.3 metre and was relatively constant.

On the side of the tunnel excavation from Dýrafjörður (see Fig. 2), the thickness of three encountered interlayers was significantly variable (0.5; 1.5 and 5m). According to the borehole carried out during the geological



Obr. 4 Příčný průřez tunelu
Fig. 4 Tunnel cross-section

k jihojihovýchodu. Bazaltová láva se skládá z převážně porfyrického bazaltu. Obvyklá mocnost je mezi 5 až 15 metry.

Na straně ražby z Arnarfjörðuru bylo zastíženo množství pravých žil, ale relativně málo zlomů. Pravé žíly mají velmi rozdílné mocnosti a obvykle jsou složeny z paralelních vertikálních vrstev opakovaných magmatických intruzí podél tektonického lineamentu. Ze strany Dyrafjörðuru byla četnost pravých žil malá. Průměrná mocnost sedimentárních vložek byla na straně ražby z Arnarfjörðuru 0,3 metru a byla poměrně stálá.

Na straně ražby z Dýrafjörðuru (obr. 2) byla mocnost tří zastížených vložek značně proměnlivá (0,5; 1,5 a 5 m). Podle vrtu provedeného při geologickém průzkumu měla být tloušťka poslední sedimentární vrstvy 8 až 10 metrů. Rozdíl ukazuje na kolísání mocnosti tohoto sedimentu a odhaluje vhodnost dalšího vrtu, pokud je při geologickém průzkumu zjištěna takto ražbu ovlivňující vrstva. Sediment je tvořen zejména jílovcem až prachovcem, převážně červené barvy (obr. 3).

Několikrát byly nalezeny zbytky zkamenělého dřeva, které jsou pozůstatky dávného lesa. Zajímavostí je nález ryzí mědi na povrchu. V nadloží sedimentu byl také na několika čelbách zastížen lignit o mocnosti několika centimetrů.

RAŽBY

Tunel délky 5 301 m byl směrově navržen s oblouky o poloměru 600 m u obou portálů do prvních závlivů a poloměrech 12 000 m ve zbytku trasy. Sklon nivelety 1,5 % je dovrchní od jižního portálu po přibližně 2/3 délky (3 685 m) a pak klesá ve stejném sklonu 1,5 % k severnímu portálu v délce 1 616 m. Běžný příčný profil je obdobou norského standardu T8 s plochou výrubu 55,59 m² (obr. 4). Deset nouzových závlivů o příčném profilu 77,7 m² bylo vyraženo každých přibližně 500 m, sedm z nich s další příčnou rozrážkou nebo rozrážkami. Tyto rozrážky slouží pro vybudování technických místností, záchranných místností nebo závlivů pro otáčení (obr. 5).

Tunel byl ražen metodou Drill&Blast. Ražby prováděné tímto způsobem jsou velmi efektivní, a to nejenom vzhledem k jejich rychlosti, ale také z pohledu relativně nízkých nákladů pro investora. Tuto metodu lze ovšem využít pouze v pevných skalních horninách, které na Islandu převládají. Základním aspektem metody

survey, the last sedimentary layer was to be 8 to 10 metres thick. The difference indicates fluctuation in the thickness of this sediment and reveals appropriateness of another borehole when such a layer affecting the excavation is detected during geological survey. The sediment is formed mainly by claystone to siltstone, mostly red (see Fig. 3).

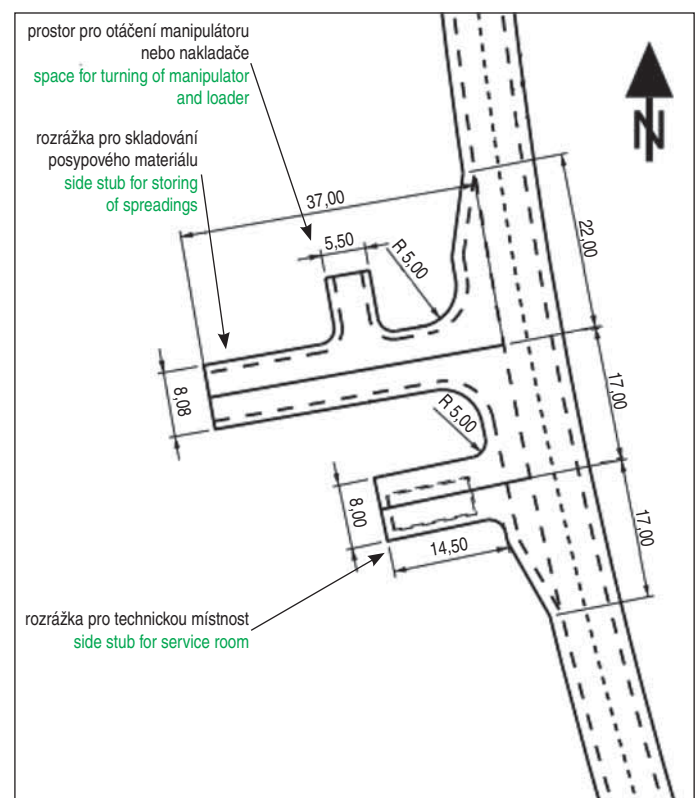
Remains of petrified wood from an ancient forest were found several times. Of interest is the finding of pure copper on the surface. Several centimetres thick lignite strata overlying the sediment was also encountered at several headings.

TUNNEL EXCAVATION

The 5301m long tunnel was designed with the radii of horizontal curves of 600m from both portals up to the initial lay-bys and with diameters of 12,000m on the remaining route. The gradient of the grade line of 1.5% is inclined upwards from the southern portal, approximately on 2/3 of the length (3685m) and then continues downhill on the same gradient

of 1.5% up to the northern portal, along the length of 1616m. The common cross-section is an analogy to Norwegian standard T8 with the excavated area of 55,59m² (see Fig. 4). Ten emergency lay-bys with cross-sectional areas of 77.7m² were excavated approximately every 500m; seven of them together with additional transverse stubs or tunnel stubs. The tunnel stubs are used to build service rooms, emergency rooms or turning lay-bys (see Fig 5).

The tunnel was driven using the Drill&Blast method. Tunnel excavation carried out using this technique is very effective, not only with respect to the advance rates but also in terms of relatively low



Obr. 5 Rozrážky v bezpečnostním závlivu B
Fig. 5 Tunnel stubs in safety lay-by B

Drill&Blast je použití primární výztuže, tj. svorníků a stříkaného betonu, alternativně s rozptýlenou výztuží. Primární výztuž není separována od definitivního ostění a tvoří jeden celek. Definitivní vyztužení tvoří zpravidla další vrstva stříkaného betonu a doplnění svorníků do definovaného rastru. Návrh vyztužení díla se provádí každý záběr na základě Q-systému.

Ražby probíhají obvykle s využitím trhačích prací, výjimečně také se strojním rozpojováním. K rozpojování horniny se používají emulzní trhavin. Délka produkčních vrtnů odpovídá maximální možné délce vrtných tyčí na 18' lafetách vrtacího vozu, tj. 5,2 m.

Primární zajištění výrubu tunelu je realizováno pomocí různých typů svorníkové výztuže a stříkaného betonu. Dodatečné svorníkování a další vrstva stříkaného betonu pak slouží jako definitivní vyztužení tunelu. Až na výjimky jsou používány pouze svorníky s povrchovou úpravou pozinkováním a epoxidovým nátěrem v tloušťkách alespoň 65, resp. 60–100 μm .

Ražby byly na jižním portále (Arnarfjörður) zahájeny prvním odpalem 12. 9. 2017. V prvních měsících byly nepříznivě ovlivněny geologickou situací s častými přítoky netlakové vody (obr. 6). Tyto přítoky působily problémy při geodetickém zaměřování tunelu a negativně působily i na elektroinstalaci strojů. Přítoky musely být tudíž odkloněny nastřelenými svody.

Počátkem března 2018 se geologické podmínky výrazně zlepšily a až do konce ražeb z jižního portálu zůstaly poměrně příznivé. Nicméně několikrát zastížené přítoky vody, poruchy a sedimentární mezivrstvy (o mocnosti do půl metru) výrazně neovlivnily rychlost postupů.

Ve čtyřech měsících období března až září 2018 bylo překonáno vždy min. 300 vyražených tunelmetrů, s nejlepším dosaženým měsíčním výkonem 402,5 metrů. Tento výkon je v daném profilu nejlepší na celém Islandu. V tom samém období bylo v sedmnácti týdnech dosaženo nebo překročeno 80 vyražených tunelmetrů, dvakrát bylo překročeno 100 metrů za týden (tab. 1).

Tab. 1 Měsíční výkony, portál Arnarfjörður, od března 2018

měsíc	tunel [m]	rozrážka [m]	celkem [m]
březen	387,2	0,0	387,2
duben	287,0	49,5	336,5
květen	402,5	0,0	402,5
červen	378,5	0,0	378,5
červenec	298,4	19,0	317,4
srpen	328,2	0,0	328,2
září	214,0	35,0	249,0

Po kompletním přesunu zařízení staveniště byly ražby ze severního portálu (Dýrafjörður) zahájeny 12. 10. 2018. Navzdory očekávání zde byly přítoky vody podstatně menší než na jižním portále. První dvě zastížené sedimentární vrstvy znamenaly jen mírné zdržení postupu. Třetí vrstva, až 5 m mocná, si vyžádala změnu jak v délce postupů, tak i ve vyztužení. Došlo ke zkrácení záběrů až na 2 metry a k instalaci výztužných rámy. Rámy spolu s hustějším osazením svorníků, s KARI sítí přes část profilu zakrý-



Obr. 6 Přítoky vody
Fig. 6 Water inflows

costs for project owners. However, this method can only be used in the hard rock types which predominate in Iceland. The basic aspect of the Drill&Blast lies in the use of primary support, i.e. rock bolts and sprayed concrete, alternatively with fibre reinforcement. The primary support is not separated from the final lining and forms one unit. The final support is usually formed by another layer of concrete and an addition of rock bolts into the defined grid. The design for the excavation support is carried out on the basis of the Q-system.

Tunnel excavation is usually carried out using blasting, exceptionally also by mechanical rock disintegration. Emulsion explosives are used for rock disintegration. The length of production boreholes corresponds to the maximum possible length of drill rods on 18' booms of the drilling rig, i.e. 5.2m.

The primary support of the tunnel excavation is carried out using rockbolts and shotcrete. Additional rockbolts and another additional layer of shotcrete serve as the final tunnel support. With a few exceptions, only bolts with a galvanised surface finish and epoxy coat at least 65, respectively 60–100 μm thick are used.

At the southern portal (Arnarfjörður) commenced by the first firing on 12 September 2017. In the initial months, the excavation was adversely affected by the geological situation with frequent inflows of water under pressure (see Fig. 6). The inflows caused problems during surveying of the tunnels and acted negatively even on electrical installations of machines. The inflows had therefore to be diverted by collecting pipes shotfired to the rock surface.

At the beginning of March 2018, geological conditions significantly improved and remained relatively favourable until the end of the tunnel excavation from the southern portal. Nevertheless, the several times encountered water inflows, faults and sedimentary interlayers (up to half a metre thick) did not significantly influence the excavation advance rates.

In the four months from March to September 2018, the excavated length of 300 tunnel metres per month was always exceeded as a minimum, with the best monthly advance rate achieved of 402.5 metres. In the particular profile, this rate is the best in the whole Iceland. During the same period, 80 excavated tunnel metres per week were reached or exceeded in seventeen weeks, the weekly advance rate of 100 metres was exceeded twice (Table 1).

vající vrstvu sedimentu a více než 20 cm mocnou vrstvou stříkaného betonu zajistily stabilitu výrubu. Po instalaci 25 rámu sediment počátkem ledna 2019 vymizel z profilu. Ražba pokračovala stabilním, rychlým tempem přes 80 m/týden do prorážky 12. 4. 2019.

Tab. 2 Měsíční výkony, portál Dýrafjörður, od ledna 2019

měsíc	tunel [m]	rozrážka [m]	celkem [m]
leden	313,8	0,0	313,8
únor	360,9	0,0	360,9
březen	371,0	18,5	389,5
duben	159,5	0,0	159,5

V pátém týdnu ražby roku 2019 bylo dosaženo nového rekordu – 111,0 vyražených metrů. V deseti týdnech došlo k překročení výkonu 80 tunelmetrů, v pěti z nich dokonce 90 tunelmetrů.

STROJNÍ SESTAVA A ÚDRŽBA STROJŮ

Vzhledem ke složité dopravní dostupnosti, zejména v zimě, závisí úspěšné provedení ražeb na kvalitní strojní sestavě, pečlivé údržbě, skladových zásobách a s nimi spojené logistice a kvalitních osádkách.

Strojní sestava pro ražby v těchto podmínkách byla pečlivě vybrána. Klíčové stroje jsou zdvojeny pro případ vážné poruchy:

- nový vrtací vůz Sandvik DT1131i a starší, záložní Sandvik DT1130-SC;
- stříkácí stroje Meyco Potenza;
- pásový bagr Hitachi Zaxis 210LC a Komatsu PC210.

Velký důraz byl kladený na údržbu mechanizace. Strojmistři byli proškoleni na nový vrtací vůz ve výrobním závodě ještě před zahájením prací. Pravidelné denní prohlídky strojů, včetně čištění vzduchových filtrů, byly kombinovány s týdenním mytím. Hala údržby byla velmi dobře vybavena a disponovala soustruhem, hydraulickým lisem, zvedákem na auta i přezouvačkou pneumatik. Na zařízení staveniště je k dispozici kontejner s lisem a hydraulickými hadicemi s různými koncovkami.

Beton – stříkaný i konstrukční – byl připravován zhotovitelem přímo na stavbě. Součástí zařízení staveniště byla nová betonárna Tecwill Cobra C40, vhodná do arktických podmínek, kompletně izolovaná stříkanou PUR izolací. Disponuje třemi silami na písek o celkovém objemu 90 m³. Pět sil na cement pojme 750 tun cementu se šestiprocentní přísadou křemíkového prášku (mikrosilika).

LOGISTIKA

Doprava osob a materiálu na stavbu hrála důležitou roli v úspěšném a rychlém provedení ražeb. Sklonové poměry tunelu



Obr. 7 Zasněžená Dynjandisheiði

Fig. 7 Dynjandisheiði road covered with snow

After complete shifting of the construction site facilities, the tunnel excavation from the northern portal (Dýrafjörður) started on 12 October 2018. Despite expectations, water inflows here were significantly lower than the inflows at the southern portal. The initially encountered two sedimentary layers meant only a moderate delay in the excavation advance. The third layer, up to 5m thick, required a change both in the lengths of advance rounds and in the excavation support. The length of excavation rounds was reduced up to 2 metres and supporting frames were installed. The frames together with reduced spacing of installed rockbolts, with KARI welded mesh covering a part of the cross-section with the sedimentary layer and an over 20cm thick layer of shotcrete secured the excavation stability. At the beginning of January 2019, after installation of 25 frames, the sediment disappeared from the cross-section. The tunnel excavation continued at a stable, fast rate over 80m per week until the breakthrough on 12 April 2019.

Table 1 Monthly excavation rates, Arnarfjörður portal, since March 2018

month	tunel [m]	stub [m]	total [m]
March	387.2	0.0	387.2
April	287.0	49.5	336.5
May	402.5	0.0	402.5
June	378.5	0.0	378.5
July	298.4	19.0	317.4
August	328.2	0.0	328.2
September	214.0	35.0	249.0

Table 2 Monthly excavation rates, Dýrafjörður portal, since January 2019

month	tunel [m]	stub [m]	total [m]
January	313.8	0.0	313.8
February	360.9	0.0	360.9
March	371.0	18.5	389.5
April	159.5	0.0	159.5

A new record – 111.0 metres excavated per week – was achieved in the fifth week of tunnelling in 2019. The rate of 80 tunnel metres was exceeded in ten weeks, whilst 90 tunnel metres were exceeded even in five weeks.

MECHANICAL EQUIPMENT SET AND MAINTENANCE OF MACHINES

With respect to the complicated transport accessibility, mainly in winter, the successful tunnel excavation depends on good quality of the mechanical equipment set, careful maintenance, the inventory and associated logistics, as well as good quality of crews.

The mechanical equipment set designed for tunnel excavation under these conditions was carefully selected. The key machines are duplicated in case of a serious breakdown:

- a new drilling rig Sandvik DT1131i and an older, stand-by Sandvik DT1130-SC;
- Meyco Potenza shotcrete machine;
- Hitachi Zaxis 210LC and Komatsu PC210 crawler excavators.

Great emphasis was placed on the maintenance of mechanical equipment. Machine operators were trained for the new drilling rig in the production plant before the work commenced. Regular daily machine inspections, including cleaning air filters, were combined with weekly washing. The maintenance shed was very well equipped and had a lathe, a hydraulic press, a vehicle jack and tyre switching gear available. A container with a press and hydraulic hoses with various ends are available at the construction site arrangement.

Concrete – both sprayed and structural – was prepared by the

předpokládaly ražby přibližně 2/3 délky tunelu z jižního portálu Arnarfjörður a zbytek ze severního portálu Dýrafjörður. Jižní portál leží v odlehlém fjordu, kde mimo obsluhu vodní elektrárny Mjolká nežijí žádní lidé. V zimním období obě přístupové cesty (z jihu silnice č. 60 Dynjandisheiði a ze severu silnice č. 60 Hrafnseyrarsheiði) zapadají sněhem (obr. 7). V obou případech se jedná o starou štěrkovou silnici bez asfaltového povrchu. Údržba Hrafnseyrarsheiði je přitom vzhledem k mase navátého sněhu a lavinovému nebezpečí nemožná. Podle plánu byla pravidelně, přibližně každé čtyři týdny, na několik dnů otevřena Dynjandisheiði. Další možností je doprava lodí, která je kvůli malému molu a nízké hloubce omezena na loďku o délce 7 metrů s kapacitou 3–4 osoby.

DOPRAVA MATERIÁLU

Pro ražby z jižního portálu Arnarfjörður byly investorem vyžadovány skladové zásoby hlavních materiálů na alespoň šest týdnů. Toto množství mělo být dostatečné pro případ špatného počasí a odloženého otevření Dynjandisheiði. Výběr vhodného data začínal přibližně po třech týdnech analýzou předpovědi počasí a konzultacemi s partnerem ve sdružení a investorem. Cílem bylo vybrat takové období, které zaručovalo přijatelné počasí alespoň po tři dny. V tomto okně musely být na stavbu dopraveny materiály, které nebylo možno naskladnit na celou zimu (cement, emulze, rozbušky, počinové nálože atd.). Otevření přístupové cesty a následnou krátkou údržbu měl na starosti investor. Odklizení sněhu probíhalo pomocí sněžné frézy na kolovém nakladači a grejdru. Práce obvykle začínaly v brzkých ranních hodinách z jihu, od hotelu Flókalundur. Zde již čekaly návěsy s emulzí a kontejnery. Frézování trvalo několik hodin. Dopravený materiál byl okamžitě přecherpan či složen a auta se vracela do Reykjavíku, vzdáleného přibližně 500 km, pro další náklad. Kvůli kapacitám dodavatele cementu bylo možno dopravit maximálně 90 tun denně, tj. tři cisternové návěsy.

Tab. 3 Data uzavření Dynjandisheiði

datum otevření	doba uzavření (dny)	pozn.
02-01-2018		pro osobní dopravu
25-01-2018	23	
27-02-2018	33	
20-03-2018	21	
05-04-2018	16	finální otevření

Z tab. 3 vyplývá, že Dynjandisheiði byla celkem uzavřena pro jakoukoliv dopravu po dobu 93 dnů. Ani finální otevření ale neznamenalo plnou dostupnost zařízení staveniště pro nákladní dopravu. V důsledku vyšších teplot tál nahromaděný sníh a na podmáčené cestě byly vyhlášeny váhové limity 5–10 tun na nápravu. Tento stav přetrvával přibližně do poloviny května.

DEFINITIVNÍ OSTĚNÍ

Již před prorážkou, na podzim 2018, bylo provedeno definitivní vyztužení pravého boku u části tunelu vyražené z jižního portálu. To umožnilo provádění následných operací, které by jinak musely být realizovány až po prorážce.

Na základě pokynů investora byly boky strojně oškrábány, osazeny kotvami SN délky 3 m a většinou přestříkány 60 mm drátko-betonu. Zbytek definitivního ostění byl dokončen po prorážce. Tyto práce zabraly přibližně 2,5 měsíce.

contractor directly in situ. A new concrete batching plant Tecwill Cobra C40 suitable for arctic conditions, completely insulated by sprayed PUR foam, was part of the site arrangement. It has three silos for sand with the total volume of 90m³ in disposal. Five cement silos hold 750 tonnes of cement with addition of six percent of silicon powder (microsilica).

LOGISTICS

Transport of persons and materials to the site played an important role in the successful and fast tunnel excavation. Tunnel slope conditions assumed the excavation of approximately 2/3 of the tunnel length from the southern portal, Arnarfjörður, and the remaining part was excavated from the northern portal, Dýrafjörður. The southern portal is located in a remote fjord, where, with the exception of operators of the Mjolká hydropower plant, no people live. In winter, both access roads (road No. 60, Dynjandisheiði, from the south and road No. 60, Hrafnseyrarsheiði, from the north) are covered with snow (see Fig. 7). In both cases the roads are old, covered with gravel without asphalt surface. The winter maintenance of the Hrafnseyrarsheiði road is impossible with respect to drifts of snow and danger of avalanches. The Dynjandisheiði road was open according to the plan, the Dynjandisheiði road was regularly, approximately every four weeks, opened for several days. Shipping provides the other possibility. However, the pier is small and the depth is small, the length of ships is restricted to 7 metres and the ship capacity is limited to 3–4 persons.

TRANSPORT OF MATERIALS

The store stock of main materials at least for 6 weeks is required by the project owner for the tunnel excavation from the southern portal, Arnarfjörður. This amount should be sufficient in case of adverse weather and postponed opening of the Dynjandisheiði road. Selection of the appropriate date started approximately after three weeks by analysing the weather forecast and consulting with the consortium partner and the project owner. The objective was to select such a period which guaranteed acceptable weather at least for three days. During this window, materials which were not easy to put into the storage for the whole winter (cement, emulsion, detonators, primers etc.) had to be transported to the construction site. Opening of the access road and subsequent short maintenance was a task for the project owner. Snow was cleared by a snow thrower on a wheeled loader and a grader. Work usually started early morning from the south, from Flókalundur hotel. Semi-trailers with emulsion and containers were already waiting there. Removing snow took usually several hours. The transported material was immediately overpumped or unloaded and the vehicles returned to about 500km distant Reykjavik for another load. Due to the capabilities of the cement supplier, only a maximum of 90 tonnes could be transported a day, i.e. three tank semi-trailers.

Table 3 Dynjandisheiði road closure dates

date	closure duration (days)	note
02-01-2018		for passenger traffic
25-01-2018	23	
27-02-2018	33	
20-03-2018	21	
05-04-2018	16	final opening

It follows from Table 3 that the Dynjandisheiði road was closed for any traffic for the total of 93 days. But even the final opening did not mean full accessibility of the construction site for freight traffic. The accumulated snow melted due to higher temperatures

IZOLACE PROTI VODĚ A MRAZU

Islandský investor, kvůli nízké hustotě osídlení a dopravy, přizpůsobuje norský systém izolací islandským podmínkám. Nedočká tak k izolaci kompletní délky tunelu, ale jen k izolaci vybraných úseků.

Specifikace tunelu Dýrafjörður počítaly s několika typy izolací:

1. izolace plného profilu polyetylenovou pěnou;
2. částečná izolace deskami z polyetylenové pěny;
3. částečná izolace polyetylenovou fólií s pevně danou šířkou (s výměrou do 20 m²).

Typy 1 a 2 jsou zavěšeny na svornících, zatímco typ 3 je islandská specialita – membrána je uchycená k ostění nastřelením.

Již před prorážkou začal stavební dozor blíže monitorovat a vybírat místa, která budou zakryta izolací. Tento proces vrcholil nedlouho po prorážce, kdy bylo třeba kvůli napjatému harmonogramu zahájit práce na izolacích.

Prvním krokem bylo značení míst osazení svorníků, kdy na předepsaná místa vyznačil geodet stavby křížky v rastru cca 1,375×1,2 m. U plného profilu šlo o 15 kusů, s osmým svorníkem jako centrálním. Centrální svorník měl pevně danou polohu vzhledem k pozdějšímu využití pro uchycení kabelového žebříku. Při vyznačování byla zároveň zaznamenána přesná poloha a vypočtena délka každého svorníku. Celkem bylo vyznačeno přes 33 tisíc svorníků.

Označená místa byla následně vyvrtána za použití nástavbové vrtačky AB1000 se vzduchovým výplachem firmy Wimmer Felstechnik GmbH. Jednotka byla osazena na pásovém bagru Komatsu PC210. Sestava byla vybavena odsavačem prachu WDC450 stejného výrobce. Odsavač radikálně omezil prašnost při vrtání. Zásobování vzduchem zajišťoval kompresor Kaeser M45. Předepsaná hloubka vrtů činila 500 mm. Vzhledem k průměru lepicích ampulí byla použita vrtací dláta průměru 26 mm a délky 1 200 mm.

Použité svorníky byly vyrobeny z betonářské výztuže o kvalitě B500NC a průměru 16 mm s 300 mm dlouhým závitem na jedné straně. Povrchová ochrana se skládala ze dvou vrstev, zároveň pozinkované spodní a epoxidové svrchní. Vzhledem k nepravidelnosti ostění byla délka svorníků značně variabilní, od 800 do 2 000 mm.

Všechny svorníky byly do ostění uchyceny lepením za použití dvousložkových polyesterových lepicích ampulí Lokset průměru 23 mm a délky 250 mm. Promíchání složek bylo dosaženo rotačním zaváděním svorníků pomocí rázové utahovačky Makita TW0350.

Svorníky delší než 1 m od ostění byly dodatečně vyztuženy diagonálním táhlem uchyceným lanovými svorkami.

Instalace izolací

Typ 1 – Izolace plného profilu polyetylenovou pěnou (PE foam)

Při portálech a u více zvodnělých úseků se izoloval celý profil. Specifikace předpokládaly instalaci desek na sraz. Předepsaná pěna o tloušťce 45 mm byla dodávána na námořních kontejnerech (flatrack) v délce odpovídající obvodu = 18,1 m. Tím se zhotovitel vyhnul horizontálním překryvům. Bezpečnostní záclony bylo nutno izolovat jiným systémem – na překryv. Jednostranné rozšíření jiným způsobem neumožňovalo.

Na úseky delší než 25 m bylo nutno nainstalovat dilatační pásy. Plastový L profil o výšce 1 cm, nižší než finální tloušťka betonu, se plastovými šrouby upevnil po celé délce profilu.

Celková čistá výměra izolace polyetylenovou pěnou dosáhla 48 600 m² na 68 úsecích.

Druhou část instalace tvořilo vyztužení desek KARI sítí. Závěšovalo se 25 mm od vnitřní strany. Správnou vzdálenost zajiš-

and axle weight limits of 5–10 tonnes were prescribed. This condition lasted approximately until mid-May.

FINAL LINING

The final support of the right-side of the part excavated from the southern portal was installed already before the breakthrough, in autumn 2018. It allowed for execution of subsequent operations which would otherwise have to be carried out after the breakthrough.

Based on instructions of the project owner, the sides were manually scaled, 3m long SN anchors were installed and mostly covered with a 60mm thick layer of steel fibre reinforced shotcrete. The remaining part of the final lining was finished after the breakthrough. These operations took approximately 2.5 months.

WATERPROOFING AND FROSTPROOFING

With respect to the low population and traffic density, the Icelandic project owner adapts the Norwegian system of insulations to Icelandic conditions. In this way the insulation is not provided for complete length of the tunnel and only selected sections are insulated.

Specifications for the Dýrafjörður tunnel counted on several insulation types:

1. insulation of the full profile with polyurethane foam;
2. partial insulation with polyethylene foam sheets;
3. partial insulation with a polyethylene membrane with firmly given width (area up to 20m²).

Types 1 and 2 are suspended on rock bolts, while type 3 is an Icelandic specialty – the membrane is fixed to the lining by shotfiring.

Even before the breakthrough, the supervising engineer started to monitor more closely locations to be covered with insulation and select them. This process culminated shortly after the breakthrough, when it was necessary due to the tight schedule to commence the work on the insulations.

The first step lied in marking the points for installation of rockbolts. The construction surveyor marked them with crosses at a ca 1.375×1.2m grid. In the full profile, there were 15 rockbolts, with the eighth rockbolt as the central piece. The position of the central rockbolt was fixed with respect to the subsequent using them for attaching a cable ladder. The exact position and length of each rockbolt was at the same time marked and calculated when the marking was being conducted. Over 33,000 rockbolts were marked in total.

Holes were subsequently drilled in the marked points using AB1000 drilling cassette with air flushing system supplied by Wimmer Felstechnik GmbH. The unit was installed on Komatsu PC210 crawler excavator. The set was equipped with WDC450 dust extractor provided by the same manufacturer. The extractor radically reduced dust emission during drilling. Air was supplied by a Kaeser M45 compressor. The depth of 500mm was prescribed for the drillholes. With respect to the diameter of the resin capsules, 1200mm long, 26mm in diameter, drilling cutters were used.

The rockbolts which were used were made from B500NC concrete reinforcement steel bars 16mm in diameter with 300mm long thread on one side. The surface protection consisted of two layers, the lower hot dip galvanised with zinc and an epoxy layer on the surface. With respect to irregularities in the lining, the length of the rockbolts was significantly variable, from 800 to 2000mm.

All rockbolts were fixed in the lining by adhesives using Lokset two-component polyester gluing capsules 23mm in diameter and 250mm long. Blending of the components was achieved by rotary insertion of the rockbolts using Makita TW0350 impact wrench.

Rockbolts reaching deeper than 1m from the lining were additionally reinforced by a diagonal tie rod connected by cable clamps.



Obr. 8 Aplikace stříkaného betonu na KARI síť
Fig. 8 Application of shotcrete on KARI welded mesh

tovaly na svornících speciální plastová kola o průměru 300 mm a v prostoru mezi svorníky speciální distančníky, které se do pěny šroubovaly. Síť svařené z 5mm drátu, s oky 150×150 mm a celkovým rozměrem 2×5 m, umožnily díky nízké hmotnosti snadnou instalaci (obr. 8).

Typ 2 – Částečná izolace deskami polyetylenové pěny

Tento typ byl použit k pokrytí míst s průsaky omezeného rozsahu o maximální délce půl profilu (cca 9,5 m). Na tomto projektu byly použity desky o rozměrech 11,5×2,75 m o tloušťce 45 mm. Tato délka byla vybrána kvůli plnému využití kapacity přepravních kontejnerů.

Nízká výměra tohoto typu izolací neumožnila instalaci v poloze blízké finálnímu profilu, ale v podstatě kopírovala povrch výrubu. Pevně daná šířka desek kladla zvýšené požadavky na přesnost instalace kotev, na vyrovnání případných nepřesností tak nezbyvalo mnoho prostoru.

Instalace probíhala napíchnutím na předinstalované svorníky, předem osazené zadními podložkami. Ty sloužily jako doraz a jejich polohu bylo možné nastavit matkou na závit svorníku. Zejména u oblastí s výškou blížící se polovině profilu bylo nutno pečlivě kontrolovat počáteční ustavení, aby se vyšší svorníky nedostaly mimo desku. U úseků delších než 2,75 m bylo napojení desek řešeno překryvem na kotvě, který musel být alespoň 30 cm široký.

Z přední strany byly desky vertikálně vyztuženy zpevňujícími pásy, uchycenými ke svorníkům přes profilovanou přední podložku a matku M16. Tyto pásy, vyrobené z 10mm betonářské výztuže, se v případě potřeby přihýbaly. Konce svorníků byly za matkou odříznuty. Nepřiléhající okraje desek byly uchyceny pomocí plastových šroubů.

Pokud tento typ izolace navazoval na plný profil, byl také vyztužen KARI sítí.

Veškeré materiály (kromě plastových) měly stejnou povrchovou úpravu jako svorníky, tj. zároveň pozinkovanou spodní a epoxidovou svrchní vrstvu.

Celková plocha tohoto typu izolací činila přibližně 8 000 m² na 160 úsecích.

Typ 3 – Částečná izolace PE membránou s pevně danou šířkou (s výměrou do 20 m²)

Poslední typ izolací reprezentovala nastřelovaná PE membrána o dané šířce (1,5 m). Předepsaná membrána, vyrobená z lineární-

Installation of insulations

Type 1 – Insulation of full profile with polyethylene foam (PE foam)

The whole profile was insulated at the portals and in more water saturated sections. The specifications assumed straight joints between the plates. The prescribed 45mm thick foam plates were supplied in sea containers (Flatrack) at the length corresponding to the circumference – 18.1m. In this way the contractor avoided horizontal overlapping. The safety lay-bys required another system of the insulation – overlapping. The single-sided enlargement of the width did not allow for another system.

Sections longer than 25m had to be provided with expansion joints. The plastic L profile, 1cm lower than the final thickness of concrete, was fixed with plastic bolts throughout the profile length. The total area of the insulation with polyethylene foam reached 48,600m²

on 68 sections.

The second part of the insulation was formed by reinforcement of the plates with KARI welded mesh. It was suspended 25mm from the internal surface. The correct distance was secured on the rockbolts by special 300mm-diameter plastic roundels and special distance spacers bolt-fixed to the foam. The mesh welded from 5mm-diameter rods, with 150×150mm meshes and overall dimension of mats of 2×5m allowed easy installation owing to the low weight (see Fig. 8).

Type 2 – Partial insulation with polyethylene foam plates

This type was used to cover locations with limited extent of seepage with the maximum length of a half of the profile (ca 9.5m). Sheets with the dimensions of 11.5×2.75m, 45mm thick were used on this project. This length was chosen to allow full use of the capacity of freight containers.

The small area of this insulation types did not allow for installation in the position close to the final profile, but in substance, it allowed for copying the excavated opening surface. The firmly given width of the plates placed increased demands on accuracy of installation of anchors and, for that reason, not too much space remained for levelling out possible inaccuracies.

The installation was carried out by impaling on pre-installed rockbolts with back washers installed on them in an advance. They provided a stop and their position could be set by a nut on the rockbolt thread. Thorough checking on the initial setting so that higher rockbolts did not get outside the plate was necessary first of all in areas approximating the middle of the profile. The connection of the plates in sections longer than 2.75m was solved by an overlap on the anchors, which had to be at least 30cm wide.

From the front side, the plates were vertically reinforced by reinforcing bands fixed to the rockbolts through a ribbed front washer and an M16 nut. The bands were made from 10mm-diameter concrete reinforcement bars. They were bent if necessary. The ends of the rockbolts were cut away behind the nut. Loose edges of the plates were fixed by plastic nuts.

When this insulation type connects the full profile, it was also reinforced with KARI welded mesh.

The surface finish of all materials (with the exception of plastic materials) was identical with the finish of the rockbolts, i.e. hot dip galvanised with a lower zinc layer and the upper epoxy layer on the surface.

The total area of this insulation type amounted approximately 8000m² on 160 sections.

ho nízkohustotního polyetylenu o tloušťce 1,5 mm s bílou signální vrstvou, měla zdrsňený povrch kvůli lepší přilnavosti stříkaného betonu. K ostění byla uchycena nastřelovacími hřeby, přes perforovaný pásek široký 20 mm, nábojkovou nastřelovací pistolí Spitfire P390. Zakrývala zavlhlá místa o malé šířce.

Použití tohoto typu přineslo v realizaci několik problémů. Jednalo se o možné utržení membrány od ostění během nástřiku SB. U míst s výškou přesahující přibližně 5 m to muselo být řešeno dodatečným vyztužením KARI sítí. Vzhledem k nepravidelnému nástřiku ostění ze SB mohlo docházet k průsakům vody přes okraje membrány.

Opravy izolací

V průběhu instalace mohlo dojít k poškození izolace. Malá poškození PE pěny bylo možné vyplnit silikonem. U velkých trhlin se musela vyměnit alespoň část desky.

Více zvodnělá místa bylo vhodné před samotnou instalací pěny ochránit přídáním membránou (shielding).

Stříkaný beton

Jako protipožární ochrana izolací sloužila vrstva stříkaného betonu tloušťky 8 cm u typu 1 a 2 a vrstva stříkaného betonu tloušťky 6 cm u typu 3. Beton třídy C30/37 XC3, XD1, XS1 stříkaný na izolaci vyztuženou KARI sítí obsahoval 2 kg mikropolyetylenových vláken na 1 m³. U nevyztužených izolací se do prvních vrstvy (4 cm silné) přidávalo až 5 kg makropolypropylenových vláken na 1 m³.

Při stříkání bylo nutno ochránit dříve položené drenážní roury. K tomuto bylo použito rozřezané lntnové potrubí využívané dříve při větrání čeleb.

Aplikace stříkaného betonu byla prováděna stříkacím strojem Meyco Potenza napájeným elektrocentrálou Olympian GEP200-4 (obr. 8). Celkem bylo instalováno přes 5 880 m³ stříkaného betonu.

ZÁVĚR

Projekt Dýrafjarðargöng je jedinečný. Ještě žádný tunel na Islandu se nerazil z tak nepřístupného místa. Úplné odříznutí jižního portálu po dlouhá období v zimě 2017/2018 bylo náročné nejen na plánování, koordinaci, množství zásob a logistiku, ale i na psychiku všech zúčastněných pracovníků. Ražby ze severního portálu byly v tomto směru jednodušší.

Zima 2019/2020 pak byla extrémní. Byla to srážkově nejvydatnější zima od roku 1995, což přineslo nevídané množství sněhu. Často zapadané a zafoukané přístupové cesty přinášely problémy s nástupem osádek na pracoviště i návraty do ubytovny.

Epidemie Covid-19 pak znamenala úplnou demobilizaci dělnických profesí zpět do České republiky a na Slovensko kvůli zavírání hranic. Přesto byly práce Metrostavem a.s. na projektu dokončeny včas také díky vydatné pomoci místních subdodavatelů při dokončovacích pracích.

*Ing. JOSEF MALKNECHT,
josef.malknecht@metrostav.cz,
Metrostav a.s.*

Recenzoval *Reviewed:* Ing. Pavel Polák

Type 3 – Partial insulation with PE membrane with firmly given width (area up to 20m²)

The last insulation type was represented by shotfired PE membrane with a given width (1.5m). The surface of the prescribed 1.5mm thick membrane made of linear low-density polyethylene membrane with a white signal layer was roughened to improve adhesion to shotcrete. It was fixed to the lining by cartridge nails through a 20mm wide perforated band using Spitfire P390 cartridge hammer. It covered moist places with small width.

The use of this type brought several problems in the installation. They lied in the possibility of tearing the membrane from the lining during the course of application of shotcrete. Places with the height exceeding approximately 5m had to be solved by additional reinforcement with KARI welded mesh. Water seepage through the membrane edges could occur with respect to the irregular surface of shotcrete.

Insulation repairs

Damage could be caused to the insulation during the course of the installation. Minor damage to the PE foam could be filled with silicon. In the cases of significant cracks at least a part of the plate had to be replaced.

It was appropriate to protect more water-saturated places by a membrane added prior to the installation of the foam (shielding).

Shotcrete

A layer of shotcrete 8cm thick for types 1 and 2 and 6cm thick for type 3 was used for fire protection of the insulation. The C30/37 XC3, XD1, XS1 grade concrete sprayed on the insulation reinforced with KARI welded mesh contained 2kg of micropolyethylene fibres per 1m³. In the case of unreinforced insulation, up to 5kg of macropolyethylene fibres per 1m³ were added into the first layer (4cm thick).

Previously laid drainage pipes had to be protected when concrete was being sprayed. Previously used ventilation ducts cut to pieces were used for this purpose.

Shotcrete was applied using Meyco Potenza shotcrete machine powered by Olympian GEP200-4 generator (see Fig. 8). Over 5880m³ of shotcrete were installed.

CONCLUSION

The Dýrafjarðargöng project is unique. No tunnel in Iceland had yet been excavated from such an inaccessible location. The complete cut-off of the southern portal for long periods in winter 2017/2018 was demanding not only in terms of planning, coordination, amount of stocks and logistics, but also in terms of the psyche of all participants. In this respect, the tunnel excavation from the northern portal was simpler.

The next winter 2019/2020 was extreme. Precipitation was most abundant since 1995, with unprecedented amounts of snow. The access roads often covered with falling snow and snow drifts on them brought problems for the crews to get to the workplace and return to the lodging house.

The Covid 19 epidemic then meant complete demobilisation of workers' professions back to the Czech Republic and Slovakia with respect to closing borders. Nevertheless, Metrostav's work on the project was completed on time, also owing to generous help of local sub-contractors hired for finishing work.

*Ing. JOSEF MALKNECHT,
josef.malknecht@metrostav.cz, Metrostav a.s.*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] LOFTSSON, M. a kol. *Dýrafjarðargöng*. Reykjavík: Mannvit 11/2016
- [2] MALKNECHT, J. *TUNEL DÝRAFJARÐARGÖNG, ISLAND*. Podzemní stavby Praha 2019

GEOLOGICKÝ PRŮZKUM TRASY METRA I.D V PRAZE, ÚSEK PAD4 GEOLOGICAL SURVEY OF PAD4 SECTION OF METRO ID LINE IN PRAGUE

VÁCLAV ANDĚL, MIROSLAV FILIP, ŠTEFAN IVOR

ABSTRAKT

Článek popisuje základní informace týkající se výstavby jednoho ze čtyř budovaných průzkumných děl nové trasy D metra v Praze v úseku PAD4. Jedná se o předstihovou část výstavby budoucí linky D, která bude v pořadí čtvrtou linkou pražského metra. Větší část průzkumného díla, kterou tvoří kalota přechodového tunelu mezi stanicemi Pankrác linky C a nové linky D, se stane v budoucnu integrovanou součástí stavby metra. Cílem průzkumných prací je ověření očekávaných složitých geologických podmínek v tomto úseku a potvrzení navrhovaného technického řešení včetně pokusných injektáží, které mají za úkol zvýšit kvalitu horninového prostředí kosovského souvrství. Nedílnou součástí úspěšné a bezpečné realizace stavebních prací představoval návrh vhodné strojní sestavy především z důvodu malého profilu šachty a poměrně velkého profilu kaloty raženého tunelu, která ve své konečné podobě má šířku cca 11 m a výšku cca 6,5 m. Průzkumné stavební práce v úseku PAD4 jsou nyní ve fázi, kdy je dokončeno zajištění a vyhloubení přístupové šachty, je ukončena první fáze ražeb a provádějí se pokusné injektáže.

ABSTRACT

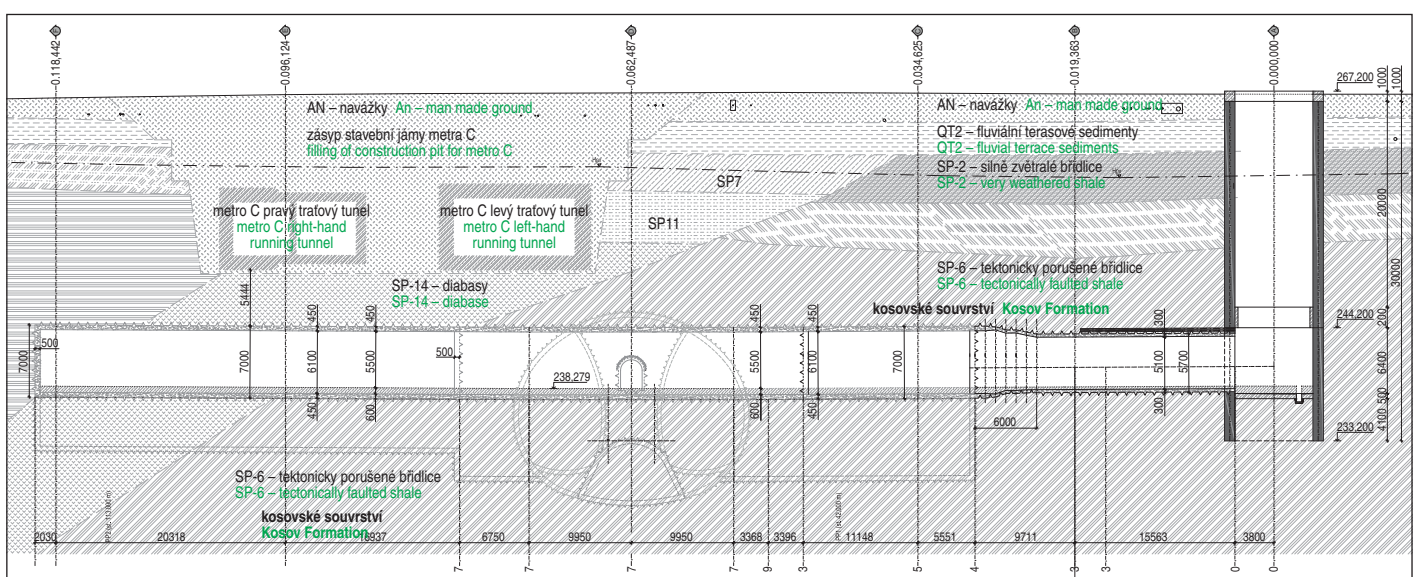
The paper describes basic information regarding the construction of one of the four survey workings under construction on the new Metro Line D in Prague in the PAD4 section. It is a preliminary part of the construction of the future Line D, which will be the fourth line of Prague metro. A bigger part of the survey working, formed by top heading of the transition tunnel between stations Pankrác on Line C and Pankrác on the new Line D, will become an integrated part of the metro construction. The objective of the survey operations is to verify the anticipated complicated geological conditions in this section and confirm the proposed technical solution, including experimental injection of grout the task of which is to increase the quality of the Kosov Formation ground environment. An inseparable part of successful and safe execution of construction work was represented by the proposal for a suitable set of mechanical equipment, first of all for the reason of the small profile of the shaft and relatively large profile of the top heading of the mined tunnel, which is ca 11m wide and ca 6.5m high in its final form. The survey construction operations in the PAD4 section are currently in the phase where the support and excavation of the access shaft has been finished, the first stage of the underground excavation has been finished and trial grouting is underway.

ÚVOD

Ražené tunely na stavbě trasy metra I.D v Praze, provozní úsek Náměstí Míru – Depo Písnice, představují v oblasti přestupní stanice Pankrác velmi náročný stavební projekt. Jeho obtížnost vyplývá jak z náročnosti konstrukce samé (jednoduchá ražená stanice Pankrác, dvoukolejné tratě tunely a složité prostorové uspořádání souvisejících objektů – přestupní tunely, tubusy stávající trasy metra C,

INTRODUCTION

Mined tunnels of the metro ID construction in Prague, operating section between Náměstí Míru and Písnice Depot, represent a very difficult construction in the area of the Pankrác interchange station. Its difficulty results both from the complexity of the structure itself (the one-vault mined station Pankrác, twin-track running tunnels and the complicated spatial arrangement of associated objects –



Obr. 1 Podélný geologický řez ze zadávací dokumentace

Fig. 1 Longitudinal geological section from tender documentation

eskalátorové tunely apod.), tak i z existence velmi složitých geologických poměrů, a to především tektonicky porušeného horninového masivu kosovského souvrství (ordovik) a přechodu do silurských hornin v uzávěru synklinální stavby horninového masivu skalního podloží. Samozřejmě je nutné vzít v potaz i geotechnické riziko výstavby této podzemní stavby v intravilánu a v bezprostřední blízkosti provozované trasy metra C. Z tohoto důvodu je ověření předpokládaných vlastností horninového masivu a jeho chování pomocí ražby průzkumného díla velmi potřebné a téměř nevyhnutelné. Především kosovské souvrství se předpokládá jako nejobtížnější ať už z pohledu razičských prací, nebo z titulu jeho vlivu na okolní podzemní a povrchové objekty. Součástí této stavby je tedy vyrazení průzkumného díla, realizace pokusných injektáží, ražba geotechnické rozrážky a různé typy průzkumných prací a zkoušek včetně zkoušek in situ.

GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY NA STAVBĚ

Předpokládané geologické a hydrogeologické podmínky na stavbě

Sledované zájmové území geomorfologicky patří k pražské plošině. Povrch území je v této části stavby převážně plochý důsledkem erozivní a akumulární činnosti Vltavy.

Podle předpokladů ze zadávací dokumentace stavby měla být většina délky raženého díla zastoupena břidlicemi kosovského souvrství s předpokladem přechodu cca 25 m na konci ražeb do velmi pevných diabasů (obr. 1). Kosovské souvrství je nemladším ordovickým souvrstvím. Jedná se o flyšové souvrství, kde dochází k rychlému střídání jílovitých a prachovitých tence vrstevnatých břidlic a deskovitě až lavicovitě odlučných křemenných pískovců a křemenců. Ve svrchní části souvrství převládají hrubozrnné lavicovité pískovce, břidličné vločky zde chybí. Celková mocnost souvrství se pohybuje kolem cca 80–120 m. Jako celek je kosovské souvrství odolnější proti větrávání a v reliéfu území se projevují jako hřbety vyvýšenin. Horniny jsou však v dané oblasti značně tektonicky porušené, silně rozpukané a na odlučných plochách limonitizované.

Diabasy (basalty) jsou charakteristické svým vulkanismem, při kterém dochází k podmořským výlevům vulkanických těles doprovázených sopečnými vyvrženinami, tufy a tufity. Diabasy jsou zelenavě šedé, obecně velmi tvrdé, s charakteristickou ofitickou strukturou, kulovitě či polštářovitě odlučnosti. Zcela nepravidelně tvoří také silně zvětralé polohy hornin s jílovitým rozpadem. Diabasy tvoří především proniky ložních žil anebo plošné výlevy v různých hloubkách sedimentace zejména na rozhraní kosovského a liteňského, nebo liteňského a kopaninského souvrství. Zásoby podzemní vody vznikají v prostoru stanice metra Pankrác pouze z atmosférických srážek. Množství infiltrované vody je rovněž závislé na stupni a charakteru zástavby infiltračního území. Celkové přítoky podzemní vody do průzkumného tunelu, stanovené hydrogeologickým průzkumem, se měly pohybovat v ustáleném stavu v rozmezí 0,8–1,1 l/s. Maximální přítoky na čelbu z hydrogeologického masivu mohou však v iniciálním stadiu dosáhnout až 15 l/s. Dosah depresního kužele byl předpokládán 81 m.

Skutečně zastižené geologické a hydrogeologické podmínky na stavbě

Při ražbě průzkumného díla mělo zastižené kosovské souvrství převážně charakter střídání vrstev jílovité břidlice a křemenných pískovců, kdy nejčastější vlastnosti břidlice jsou břidlice šedá, deskovitě až tence deskovitě vrstevnatá, s průměrnou roztečí diskontinuit 10–40 mm, kterou lze snadno rozbít kládívkem, až lámat v ruce, třídy R4–R5. Křemenné pískovce jsou světle šedé, třída R2, deskovitě vrstevnaté s kostkovým rozpadem, s průměrnou roztečí diskontinuit 20–60 mm.

interchange tunnels, the existing metro C tunnel tubes, escalator tunnels etc.) and the existence of very complex geological conditions, first of all the tectonically faulted Kosov Formation rock massif (Ordovician), and transition into Silurian rock at the end of the synclinal structure of the rock massif in the bedrock. Of course, it is necessary to take into consideration also the geotechnical risk of construction of this underground structure in the urban area and in the immediate vicinity of the operating metro Line C. For that reason the verification of the assumed properties of the rock massif and its behaviour by means of excavation of the survey working is very much needed and nearly unavoidable. In particular, the Kosovo Formation is considered to be the most difficult, both from the aspect of mining operations and from the title of its behaviour toward underground and surface objects in the vicinity. The excavation of the survey working, execution of trial grouting, excavation of a geotechnical gallery and various parts of survey operations and tests, including in situ tests, are parts of this construction.

GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS ON CONSTRUCTION SITE

Assumed geological and hydrogeological conditions on the construction site

In terms of geomorphology, the area of interest being monitored belongs to the Prague Plateau. A flat surface predominates in this part of the construction area due to the erosive and accumulation activity of the Vltava.

According to assumptions from the tender documents, the majority of the length of the mined working was to be represented by Kosov Formation shale with the assumption of transition to very strong diabase about 25m before the excavation end (see Fig. 1). The Kosov Formation is the youngest Ordovician formation. It is a flysh formation, where greenish clayey, silty and sandy thinly bedded shale and lamellar to bedded jointing of quartzose sandstone, quartzite and greywacke alternate quickly. In the upper part of the formation, coarsely-grained tabular sandstone predominate and shale interbeds are missing. The aggregate thickness of the strata fluctuates about ca 80–120m. As a whole, the Kosov formation is more resistant to weathering and the layers manifest themselves in the area relief as ridges of humps. The rock is, in addition, significantly tectonically faulted, heavily fractured and heavily limonitised on joint surfaces. Due to the flysh character, it is also prone to sliding.

The diabase is characterised by diabase volcanism, where undersea outpouring of volcanic bodies accompanied by volcanic ejecta, tuff and tuffs occurs. The diabase is greenish grey, generally very hard, with characteristic ophitic structure, with spherical or pillow jointing. It also completely irregularly forms heavily weathered layers of rock with clayey dissolution. The diabase forms mainly intrusions of intrusion veins or planar effusions at various levels of sedimentation, first of all at the interfaces of Kosov and Liteň or Liteň and Kopanina formation layers. Groundwater reserves develop in the Pankrác station area only from atmospheric precipitation. The amount of infiltrated water in addition depends on the degree and character of the development in the infiltration area. The rate of the total groundwater inflow into the exploratory tunnel determined by the hydrogeological survey was to fluctuate in the steady state about 0.8–1.1L/s. However, the maximum rates of the inflow to the excavation face from the hydrogeological massif can reach up to 15L/s in the initial phase. The reach of the depression cone of 81m is assumed.

Na čelbě byly rovněž dokumentovány výrazné polohy jemnozrnných křemenných pískovců, navětralých až zdravých W2–W1, světle šedých, deskovitě až lavicovitě vrstevnatých, blokovitě rozpadavých, místy tektonicky podrcených, kladívkem lze těžce otloukat, třídy R2–R1. Tyto polohy tvořily mocné lavice, podél kterých byla jílovitá břidlice tektonicky porušena často proklouzáním po plochách vrstevnatosti.

Na závěr ražby byla zastižena mocná poloha vulkanitu – diabas, který je masivní, slabě rozpukaný, šedo zelený, na kontaktu s břidlicemi alterovaný, jinak dále zdravý až navětralý W1–W2, třídy pevnosti R3 až R2. Jeho poloha byla zastižena o cca 20 m dále, než se předpokládalo v zadávací dokumentaci.

Vrstevnatost skalního podloží se pohybovala v rozmezí 320–20°/30–45°. Její plochy byly popsány jako rovné, hladké, zcela průběžné, s průměrnou roztečí 10–40 mm u břidlic a 50–250 mm u křemenců, s maximálním rozevřením do 1 mm, s výplní Fe oxidů.

Orientace puklin je v průzkumném díle mírně variabilní, kdy převládají dva systémy. První má orientaci 190–195°/50–60°, plochy jsou popsány jako rovné, hladké, částečně průběžné, s průměrnou roztečí 50–150 mm, s průměrným rozevřením do 1 mm, s Fe oxidy. Druhý systém má orientaci 250–280°/85° a jeho plochy jsou popsány jako rovné, hladké, částečně průběžné, s průměrnou roztečí 70–150 mm.

Ražbou byly zastiženy tři tektonické poruchy, první byla ve staničení cca 19 m s orientací 125°/80°, druhá ve staničení 44 m s orientací 155°/80° a třetí ve staničení 101 m s orientací 130°/85°.

Po celou dobu ražby byly dokumentovány přítoky vody z čela a boků výrubu. Průměrný přítok do průzkumného díla se pohyboval v rozmezí 0,1 až 0,3 l/s, kdy největší přítoky byly dokumentovány z poloh křemenců, které jsou výrazně rozpukané a tvoří puklinový kolektor. Polohy jílovitých břidlic byly suché, při kontaktu s vodou vytékající z poloh křemenců se snadno rozbírají na jíl s úlomky. Maximální přítok vody 2,5 l/s byl zastižen ve staničení cca 96 m ražby průzkumného díla. Celkový přítok podzemní vody činí cca 0,5 l/s.

Jednou z nejdůležitějších doposud získaných informací v rámci průzkumu je výrazný, ražbou vyvolaný, vliv snižování hladiny podzemní vody v kosovském souvrství na okolní objekty, čímž dochází k nadměrným sedáním těchto objektů o hodnoty vyšší, než se předpokládalo, a k jejich ovlivňování docházelo daleko před samotnou ražbou. Pro samotnou ražbu tím pádem byly limity sedání okolních objektů z větší části vyčerpány.

PŘÍPRAVA ÚZEMÍ, HLOUBĚNÍ ŠACHTY

Příprava území

Staveniště úseku PAD4 se nachází na rohu ulic Budějovická a Na Strži. V blízkosti šachty z jižní strany vede vodovodní potrubí průměru 1200 mm a 400 mm. Ze západní strany procházejí v hloubce cca 12 m pod povrchem ražené tunely provozovaného úseku metra C, z východní strany kolektor (obr. 2) a ze strany severní samotná ulice Na Strži, včetně VN kabelu 110 kV. Protože pro samotné zajištění šachty a následnou ražbu průzkumného díla dochází k pojezdům těžké mechanizace právě nad vodovodním potrubím 1200 mm a 400 mm, bylo nutno jako ochranu těchto potrubí vybetonovat ŽB desku. Další komplikace přinesla realizace elektro přípojky VN včetně trafostanice a samotné prvky zařízení staveniště, od staveništních buněk, přes zařízení pro úpravu důlních vod pozůstávající ze sedimentačních nádrží, neutralizace a odlučovače ropných látek, až po místo mezideponie a skladování materiálů potřebných pro práce. Toto všechno bylo ztíženo malou plochou záboru.

Actually encountered geological and hydrogeological condition on site

The Kosov Formation encountered during the course of the excavation of the survey working had mostly the character of alternation of clayey shale layers and quartzose sandstone, where the most frequently encountered rock is grey shale, tabularly to thinly tabularly disintegrating, with the average spacing of discontinuities of 10–40mm, which is easy to break with geologist's hammer or break in hand, class R4–R5. The properties of the quartzite correspond to light quartzite, tabularly bedded with cubical fracturing, with average spacing of discontinuities of 20–60mm, which can be broken with difficulties, class R2–R3.

Layers of fine-grained quartzose sandstone, slightly weathered to fresh W2–W1, light grey, with tabular to bedded jointing, cubically disintegrating, locally tectonically crushed, hard to be chipped off with geologist's hammer, class R2–R1 were also documented on the excavation face. The layers formed thick benches along which the clayey shale was tectonically affected, frequently by slickensides on bedding planes.

A thick layer of volcanite diabase was encountered at the end of the excavation. The diabase is massive, weakly fractured, gray-green, altered on contact with shale, class R5–R6, otherwise further fresh to slightly weathered W1–W2, strength class R3. Its location was encountered by about 20m further than expected in the tender documents.

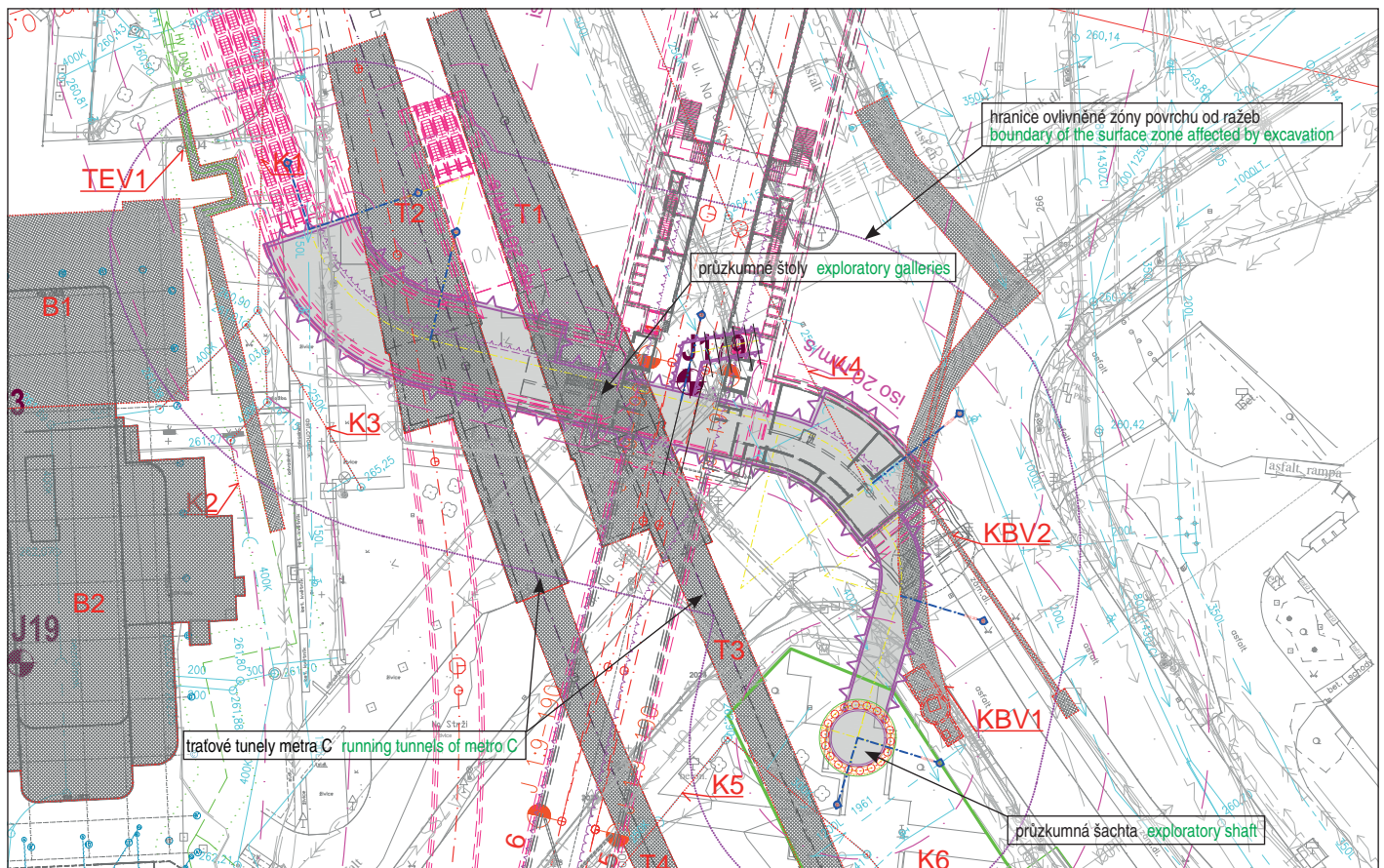
The trend and dip of bedding fluctuated from 320–20° to 30–45°. The bedding planes were described as flat, smooth, completely persistent, with average joint spacing of 10–40mm for shale and 50–250mm for quartzite, with maximum aperture up to 1mm, joints filled with Fe oxides.

The orientation of joints in the survey working is moderately variable, where two systems predominate. The orientation of the first system is 190–195°/50–60°; the planes are described as flat, smooth, partially persistent, with average spacing of 50–150mm, with average aperture up to 1mm, with Fe oxides. The orientation of the second system is 250–280°/85°, its planes are described as flat, smooth, partially persistent, with average spacing of 70–150mm.

Three tectonic faults were encountered by the excavation; the first one was at the chainage of ca 19m with the orientation 125°/80°, the second one at the chainage of 44m, with the orientation 155°/80° and the third one at the chainage of 101m, with the orientation 130°/85°.

Water inflows from the excavation face and sides were documented throughout the excavation. The average rate of inflow into the survey working fluctuated between 0.1 up to 0.3L/s. The largest inflows were documented from quartzite layers which are significantly fractured and form a fissure aquifer. Clayey shale layers were dry, easily slaking to clay with fragments on contact with water flowing from the quartzite layers. The maximum inflow rate of 2.5L/s was encountered at chainage of ca 96m of the survey working excavation. The total groundwater inflow rate amounts to ca 0.5L/s.

One of the most important information obtained so far within the framework of the survey is about the significant influence of lowering the water table due to the excavation of objects in the Kosov Formation, causing excessive settlement of the objects significantly higher than expected. Their influencing started a long time before the excavation itself. Thus the limits for settlement of the objects in the vicinity have been largely exhausted due to the excavation itself.



Obr. 2 Půdorys úseku PAD4 včetně okolních objektů
Fig. 2 Plan view of PAD4 section including buildings in the vicinity

Hloubení šachty

Přístupová šachta pro ražbu průzkumného díla má vnitřní průměr 7,6 m a hloubku cca 30 m, kdy v hloubce cca 22 m je průměr snížený na 7 m z důvodu ŽB převázky. Zajištění šachty je tvořeno převrtávanými pilotami průměru 1000 mm, od hloubky cca 22 m jsou pouze sekundární piloty a prostor mezi pilotami je zajištěn stříkaným betonem. Stříkaný beton byl nanášen v suché formě pomocí stříkacího stroje Aliva 262. Práce na zajištění šachty byly zahájeny v průběhu srpna a dokončeny na začátku října roku 2019. Samotné hloubení probíhalo do hloubky cca 6 m z povrchu pomocí bagru. Od hloubky cca 6 m až na dno se šachta hloubila pomocí bagru Takeuchi TB138 FR umístěného na dně šachty (obr. 3), kdy rubanina byla naložena do výklopné vany o objemu 2 m³ a následně vytažena pomocí jeřábu RDK 300 na mezideponii na povrchu. Po vyhloubení šachty do úrovně dna kaloty průzkumného díla byl proveden dvouřadový mikropilotový deštník nad budoucím profilem tunelu, který byl vytvořen mikropilotami 114/10 mm délky 15 m. Po dokončení hloubení, betonáže ŽB desky na dně jámy, včetně čerpací jímky a jejího vystrojení, byla 11. 1. 2020 zahájena ražba samotného průzkumného díla. Již v rámci hloubení šachty byly zastíženy pevné vrstvy křemenců různých mocností od řádově cm až po první jednotky m. Tyto vrstvy zpomalovaly práce na hloubení a zároveň

SITE PREPARATION, EXCAVATION OF SHAFT

Site preparation

The construction site for the PAD4 section is located at the corner of Budějovická and Na Strži streets. Water pipelines 1200mm and 400mm in diameter lead in the vicinity of the shaft from the southern side. Mined tunnels of the operating section of

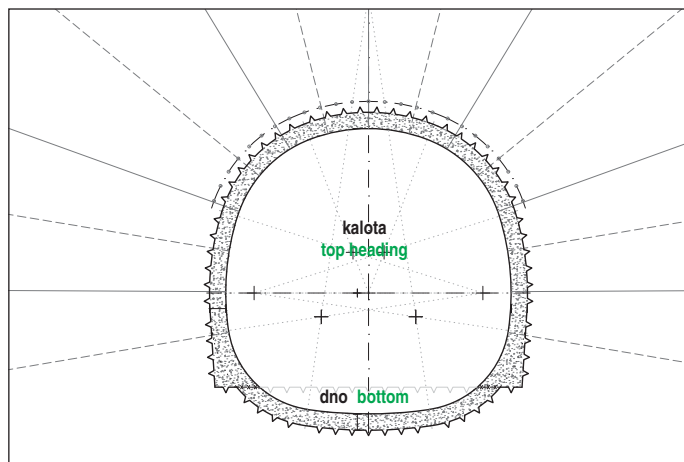


Obr. 3 Hloubení stavební šachty
Fig. 3 Excavation of construction shaft

drénovaly podzemní vodu, která byla zastižena v hloubce 6 m od povrchu.

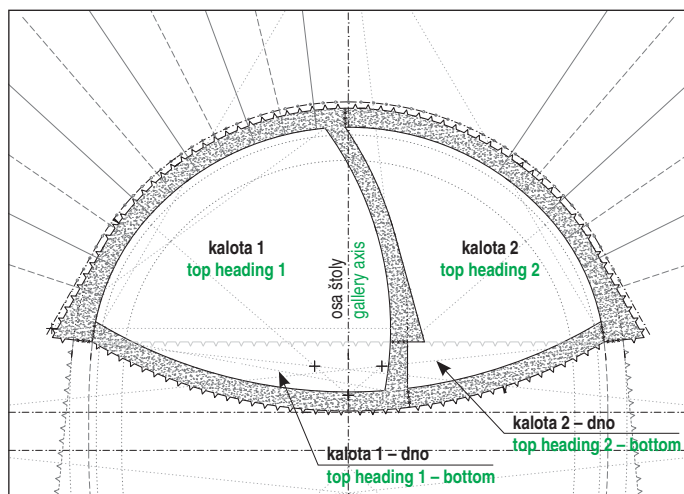
RAŽBA PRŮZKUMNÍHO DÍLA

Ražba průzkumného díla byla zahájena v polovině ledna 2020. Ražba probíhá podle zásad NRTM a je rozdělena na 4 typy: TYP 1, TYP 2, TYP 3 a TYP 4. Zadávací dokumentace stavby předpokládala ražbu převážně v technologické třídě TT5a, kde se očekávalo



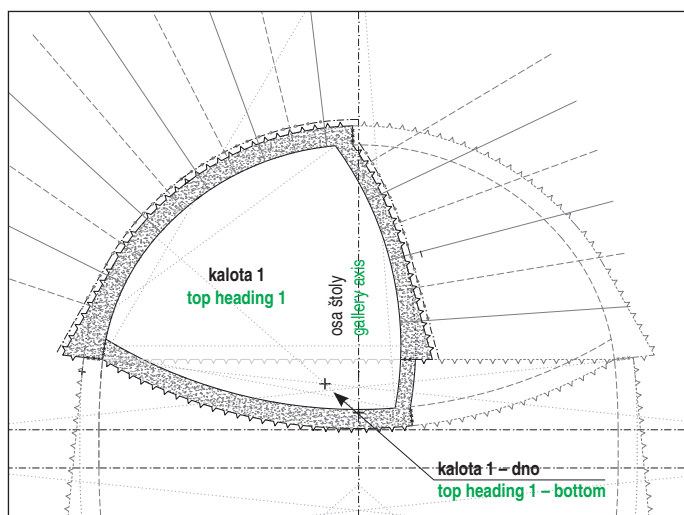
Obr. 4 Vzorový řez ražby TYP 1

Fig. 4 Typical cross-section of TYPE 1 excavation



Obr. 5 Vzorový řez ražby TYP 2 a 4

Fig. 5 Typical cross-section of TYPE 2 and 4 excavation



Obr. 6 Vzorový řez ražby TYP 3

Fig. 6 Typical cross-section of TYPE 3 excavation

the metro C line run at the depth of ca 12m under the surface from the western side, a utility tunnel from the eastern side (see Fig. 2) and Na Strži street itself, including a 110kV HT cable, from the northern side. Because of the fact that heavy mechanical equipment runs above the 1200mm and 400mm water pipelines for the purpose of installation of the shaft support and subsequent excavation of the survey working, it was necessary to carry out an RC slab to protect the pipelines. Other complications were brought by the work on a high voltage terminal including a transformer station and elements of the site arrangement, from site containers, through a facility for treatment of mine water consisting of sedimentation basins, a neutralisation and oil separator, up to the space for an intermediate stockpile and storing materials required for the work. That all was made more difficult by the small land acquisition area.

Shaft excavation

The access shaft for the excavation of the underground working is 7.6m in internal diameter and ca 30m deep. The diameter is reduced at the depth of ca 22m to 7m with respect to an RC waler. The shaft support is formed by secant bored piles 1000mm in diameter; down from the depth of 22m, there are only secondary piles and the space between them is supported with shotcrete. Shotcrete was applied in dry form using Aliva 262 spraying machine. The work on the shaft support started during August and was finished at the beginning of September 2019. The excavation itself proceeded up to the depth of ca 6m from the surface using an excavator. From the depth of ca 6m to the bottom the shaft was excavated using a Takeuchi TB138 FR excavator placed on the shaft bottom (see Fig. 3). Muck was loaded to a tipping container with the volume of 2m³ and subsequently was lifted using an RDK 300 crane to an intermediate stockpile on the surface. After completion of the shaft excavation up to the level of the bottom of the top heading of the survey working, a double-row canopy tube pre-support consisting of 15m long tubes 114/10mm was carried out over the future tunnel profile. After completion of the excavation, concreting of an RC slab on the shaft bottom, including a sump pit and its support, the excavation of the survey working itself commenced on 11 January 2020. Strong quartzite layers with various thicknesses in the order of cm to initial units of m were encountered already within the framework of the shaft excavation. The layers decelerated the work on the excavation and, at the same time, drained groundwater which was encountered at the depth of 6m.

EXCAVATION OF SURVEY WORKING

The excavation of the survey working commenced in mid-January 2020. The excavation proceeds in accordance with the NATM principles and is divided into 4 types: TYPE 1, TYPE 2, TYPE 3 and TYPE 4. The tender documents of the project assumed the excavation mostly through rock with excavation support class TT5a, where the Kosov Formation was assumed, and in the last ca 24m long section they assumed excavation through rock with excavation support class TT4 due to anticipated strong limestone. The total length of the mined working amounts to 116.7m (see Fig. 2). The profile of the working is divided into top heading and bottom in case of TYPE 1 (see Fig. 4), top heading 1, top heading bottom 1, top heading 2 and bottom of top heading 2 in case of TYPE 2 and 4 (see Fig. 5) and top heading 1 and top heading bottom 1 in the case of TYPE 3 (see Fig. 6). Extensive trial injection of grout just into the space of the excavation of top heading 2, where its effectiveness is to be tested because of complicated geological properties of the Kosov Formation rock massif for the future excavation of the Pankrác one-vault station. Finally, the exploration



Obr. 7 První metry ražby pomocí speciálního tunelbagru
Fig. 7 Initial metres of excavation using a special tunnel excavator

kosovské souvrství, v posledních cca 24 m ražbu v TT4 z důvodu předpokládaných pevných diabasů. Celková délka raženého díla je 116,7 m (obr. 1). Profil díla je v TYPU 1 dělený na kalotu a dno kaloty (obr. 4), v TYPU 2 a 4 na kalotu 1, dno kaloty 1, kalotu 2 a dno kaloty 2 (obr. 5) a v TYPU 3 na kalotu 1 a dno kaloty 1 (obr. 6). Jako součást průzkumu jsou navrženy rozsáhlé pokusné injektáže právě do prostoru ražby kaloty 2, kde při její samotné ražbě se má vyzkoušet její účinnost z důvodu složitých geologických vlastností horninového masivu kosovského souvrství pro budoucí ražbu jednolodní stanice Pankrác. Nakonec se vyrazí průzkumná rozrážka do oblasti budoucí stanice Pankrác, kde se provedou terénní zkoušky geotechnických parametrů horninového masivu.

Ražba průzkumného díla ovlivňuje řadu podzemních a nadzemních objektů, kde mezi nejvýznamnější patří podchod provozovaných tunelů metra C, včetně hloubených objektů stanice Pankrác, kdy nejmenší vzdálenost vrcholu kaloty raženého díla je cca 5 m od těchto objektů.

Na začátku byl z důvodu malého prostoru ve stavební šachtě pro ražbu používán jenom speciální tunelový bagr (obr. 7), včetně vrtací lafety od rakouské firmy Wimmer, protože klasický vrtací vůz by se rozměrově do štolky nevešel. Až po vyražení cca 6 m bylo možné nasadit kolový nakladač BOBCAT S850. Stříkaný beton je nanášen mokrou cestou pomocí manipulátoru Meyco Oruga (obr. 8) a samotná směs je dopravována potrubím pomocí čerpadla Meyco Suprema, které je umístěno na povrchu v blízkosti šachty. Tím, že je beton dopravován do tunelu přes potrubí, byla zvýšená pozornost věnována vlastní receptuře především z hlediska její konzistence, aby nedocházelo k ucpávání samotného potrubí.

gallery will be excavated to the area of the future Pankrác station, where testing of the rock mass parameters will be conducted. The excavation of the survey working is affected by numerous underground and aboveground structures, where among the most important ones there are the passage under operating metro C tunnels including cut-and-cover structures of Pankrác station, where the smallest distance of the top heading crown of the mined working from those structures amounts to ca 5m.

At the beginning, only a special tunnel excavator (see Fig. 7) including a drilling boom from Austrian firm Wimmer was used because of the small space in the construction shaft since dimensions of a classical drilling rig would not have fitted into the gallery. BOBCAT S850 wheeled loader could be employed only after completion of ca 6m of the excavation. Wet process of spraying is carried out using Meyco Coruga manipulator (see Fig. 8) and the mixture itself is transported through a pipeline using Meyco Suprema pump, which is located on the

surface, in the vicinity of the shaft. Since concrete is transported to the tunnel through a pipeline, increased attention is paid mainly to the recipe itself first of all from the aspect of its consistency, so that plugging of the pipeline is prevented. It is possible to add setting retarder into the mixture to maintain the required consistency for ca 3 to 4 hours. After completion of the tunnel excavation length of ca 45m, the contractor could use a classical drill rig, where, again because of small dimensions of the construction shaft, they chose a new twin-boom machine manufactured by EPIROC firm, marked S2. The machine had to be partially disassembled before lowering it to the underground (see Figures 9a and 9b). Both booms were



Obr. 8 Manipulátor Meyco Oruga a typická čelba v kosovském souvrství – nahoře křemence a dole břidlice

Fig. 8 Meyco Oruga manipulator and typical excavation face in Kosov Formation – quartzite in the top and shale at the bottom



Obr. 9 Spouštění částečně demontovaného vrtacího vozu S2 (a) a jeho ramen (b)
Fig. 9 Lowering of partially disassembled drill rig S2 (a) and its booms (b)

Do směsi je možné přidat podle potřeby zpomalovač, který udrží požadovanou konzistenci po dobu cca 3 až 4 hodin. Po vyražení tunelu na délku cca 45 m mohl zhotovitel použít klasický vrtací vůz, kde opět z důvodu malých rozměrů stavební šachty zvolil nový dvoulafetový stroj od firmy EPIROC s označením S2. Stroj musel být před spuštěním do podzemí částečně demontován (obr. 9 a, b), byla demontována obě ramena (jedno rameno je osazeno lafetou pro vrtání a na druhém rameni je pracovní koš), která se jako první umístila do tunelu, pak se spustil samotný stroj a v podzemí byla obě ramena namontována. Pomocí klasického vrtacího vozu bylo možné zrychlit časy při vrtání a osazování radiálních svorníků, jehel a vrtání a osazení čelbových kotev. Druhou výhodou je fakt, že na tunelbagru při použití klasického vrtacího vozu má zhotovitel potřebný čas na nutné opravy a údržbu tohoto stroje. Po vyražení cca poloviny délky tunelu byly postupně nasazeny na odtěžení rubaniny dumpřy o objemu korby 3 m³, které sypaly rubaninu do samovyklonné vany o objemu cca 5 m³ na dně šachty. Pomocí jeřábu RDK-300 byla rubanina vysypána na mezideponi na povrchu, odkud byla odvezena kolovými vozy na konečnou skládku.

Ražba průzkumného díla potvrdila informace z hloubení šachty, kdy téměř po celou délku ražby v kosovském souvrství se střídaly vrstvy měkkých břidlic s pevnými polohami křemenců (obr. 8) s drénováním horninového masivu v relativně krátkém čase. Z důvodu snižování hladiny podzemní vody docházelo k neočekávaně většímu ovlivnění okolí raženého díla. Již po vyhloubení šachty došlo k sedání povrchu a objektů provozovaného metra C o cca 5 mm do vzdálenosti několika desítek metrů. Pevné diabasy byly zastíženy s posunutím cca 20 m oproti předpokladu. Po vyražení průzkumného díla TYP 1 a TYP 2 byla ražba na cca 1 týden zastavena z důvodu provádění průzkumných jádrových vrtů pro provedení presiometrických/dilatometrických zkoušek a geofyzikálního měření. V této době dosahovaly hodnoty sedání tubusů provozovaného metra C cca 13 mm, čímž bylo vyčerpáno cca 62 % limitu, a to ještě před realizací samotné ražby pod těmito tunely metra. Z tohoto důvodu bylo na mimořádném jednání RAMO (Rada monitoringu) rozhodnuto o pokračování ražby v TT5b s použitím chemických injektáží, aby se sedání povrchu, a především objektů metra C minimalizovalo. Pro chemickou injektáž byla použita dvousložková organicko-minerální pryskyřice MasteRoc MP368TIX, která byla čerpána přes zabudované čelbové kotvy IBO 32 délky 8 m

disassembled (one boom with feed for drilling mounted on it and a working basket mounted on the other one). They were the first to be placed in the tunnel. Lowering of the machine followed and both booms were mounted on it in the underground. By using the classical drill rig it was possible to reduce the times for drilling and installation of radial rockbolts, spiles and drilling and installation of anchors into the excavation face. Another advantage is the fact that when a classical drilling rig is used, the contractor has the time required for necessary repairs and maintenance of the tunnel excavator. After excavating about half the length of the tunnel, dumpers with 3m³ buckets were gradually employed. They tipped the muck into a self-tipping container with the volume of ca 5m³ on the shaft bottom. Muck was discharged to the intermediate stockpile on the surface by means of an RDK crane. It was transported from the stockpile to the final stockpile by wheeled vehicles.

The tunnel excavation confirmed the information from the shaft excavation, where layers of soft shale alternated nearly along the entire length of the excavation through the Kosovo Formation (see Fig. 8), with the rock mass draining in a relatively short time. Unexpectedly, larger affecting of the mined working surroundings took place due to lowering of water table. Already after completion of the shaft excavation, the terrain and structures of the operating metro line C settled by ca 5mm up to the distance of several tens of metres. Strong diabase was encountered shifted by ca 20m in comparison with the assumption. After completion of the excavation of TYPE 1 and TYPE 2 survey workings, the excavation was suspended for ca 1 week because of the work on survey core boreholes designed to verify pressuremeter/dilatometer and geophysical properties of the rock mass. At that time, values of settlement of the operating metro C tubes reached ca 13mm, which meant that ca 62% of the limit were exhausted even before the excavation under the tunnel tubes. For that reason, the decision was made at an extraordinary meeting of the RAMO (Monitoring Board) that the excavation in TT5b would continue using chemical grouting so that settlement of the surface and, first of all, metro C structures was minimised. MasteRoc MP368TIX two-component organic-mineral resin was used for chemical grouting. It was pumped through 8m long anchors installed to the excavation face and forepoles (also IBO 32) by maximum grouting pressure of 100 bar. Chemical grouting unambiguously positively

a předháněné jehly taktéž IBO 32 délky 8 m s maximálním injektážním tlakem 100 barů. Chemická injektáž jednoznačně pozitivně omezila další sedání a vyplnila pukliny v okolí raženého díla, čímž přispěla ke zpevnění horninového masivu a ke snížení drenážního efektu hladiny podzemní vody. V této technologické třídě se nakonec vyrazil zbytek průzkumného díla oproti předpokladům projektu.

Po ukončení první fáze ražeb 13. 7. 2020 byly opětovně provedeny průzkumné jádrové vrty s presiometrickými/dilatometrickými zkouškami a geofyzikálním měřením na konci průzkumného díla a byla zahájena pokusná chemická injektáž v TYPU 2 podle předpokladů ze zadávací dokumentace.

Tab. 1 Porovnání délek technologických tříd – předpoklad vs. skutečnost

předpoklad tech. tříd ražby – zadávací dokumentace				
ražba PAD4	délka celkem (m)	délka TT4 (m)	délka TT5a (m)	délka TT5b (m)
TYP 1	25,27	15,56	9,71	0,00
TYP 2	16,69	0,00	16,69	0,00
TYP 3	33,41	0,00	33,41	0,00
TYP 4	41,28	24,35	16,94	0,00
skutečně zastížené tech. tříd ražby				
ražba PAD4	délka celkem (m)	délka TT4 (m)	délka TT5a (m)	délka TT5b (m)
TYP 1	25,27	12,56	12,71	0,00
TYP 2	16,69	0,00	16,69	0,00
TYP 3	33,41	0,00	6,64	26,77
TYP 4	41,28	0,00	0,00	41,28

ZÁVĚR

Dosavadní práce na průzkumu skutečných vlastností horninového masivu, a především jeho chování ve vztahu k ražbám v předpokládaných složitých geologických podmínkách kosovského souvrství, potvrdily důležitost těchto informací ve vztahu k připravované další etapě samotné ražby jednodlní stanice Pankrác. Z již získaných informací je zřejmé, že chování horninového masivu ve vztahu ke snižování hladiny podzemní vody negativně ovlivňuje okolí raženého díla, a tím zvyšuje nároky na monitoring a opatření přijímaná po jeho vyhodnocení a neustálou pozornost všech zúčastněných, od projektanta přes investora až po samotného zhotovitele. Potvrzuje se, že zrealizovat toto dílo bude technicky velmi náročné.

VÁCLAV ANDĚL, vaclav.andel@metrostav.cz,
Metrostav a.s., divize 5,

Ing. MIROSLAV FILIP, miroslav.filip@metrostav.cz,
Metrostav a.s., divize 8,

Ing. ŠTEFAN IVOR, stefan.ivor@metrostav.cz,
Metrostav a.s., divize 5

Recenzoval Reviewed: Ing. Jan Korejčák

restricted subsequent settlement and filled fissures in the mined working surroundings. Thus it contributed to strengthening of the rock mass and diminishing the drainage effect of the water table. Contrary to the expectations, the remaining part of the survey working excavation was finally finished in this excavation support class.

After completion of the first phase of excavation on 13 July 2020, survey cored boreholes with pressuremeter/dilatometer and geophysical tests were again conducted at the end of the exploratory working and trial chemical grouting commenced in TYPE 2 according to assumptions from the tender documents.

Table 1 Comparison of the lengths of excavation support classes – assumption vs. reality

assumption of excavation support classes – tender documents				
PAD4 excavation	total length (m)	TT4 length (m)	TT5a length (m)	TT5b length (m)
TYPE 1	25.27	15.56	9.71	0.00
TYPE 2	16.69	0.00	16.69	0.00
TYPE 3	33.41	0.00	33.41	0.00
TYPE 4	41.28	24.35	16.94	0.00
actually encountered excavation support classes				
PAD4 excavation	total length (m)	TT4 length (m)	TT5a length (m)	TT5b length (m)
TYP 1	25.27	12.56	12.71	0.00
TYP 2	16.69	0.00	16.69	0.00
TYP 3	33.41	0.00	6.64	26.77
TYP 4	41.28	0.00	0.00	41.28

CONCLUSION

The work on the survey of actual properties of rock massif carried out so far, first of all its behaviour in relation to the underground excavation in the assumed complicated geological conditions of the Kosov Formation, confirmed the importance of the information in relation to the next stage of the excavation itself of the Pankrác one-vault station. It is obvious from the information already obtained that the behaviour of rock mass in relation to lowering of water table negatively affects the surroundings of the mined working, thus increases demands on monitoring and the measures adopted after its assessment, permanent attention of all participants from the designer through the project owner up to the contractor. It is confirmed that the work on this working will be technically very demanding.

VÁCLAV ANDĚL, vaclav.andel@metrostav.cz,
Metrostav a.s., divize 5,

Ing. MIROSLAV FILIP, miroslav.filip@metrostav.cz,
Metrostav a.s., divize 8,

Ing. ŠTEFAN IVOR, stefan.ivor@metrostav.cz,
Metrostav a.s., divize 5

LITERATURA / REFERENCES

Projektová dokumentace

- [1] URBÁNEK, T. *Výstavba trasy I.D metra v Praze – úsek Pankrác-Depo Písnice*. Doplňkový geologický průzkum úseku ID1a, Stavební část PAD4. Metroprojekt a.s., 07/2019, 11/2019, 01/2020
- [2] TŮMA, P. – CHMELAŘ, R. *Výstavba trasy I.D metra v Praze, úsek PAD4, čtvrtletní etapové zprávy doplňkového geologického průzkumu*. PUDIS a.s., 03/2020 06/2020

REALIZACE SEKUNDÁRNÍHO OSTĚNÍ TUNELU PREŠOV

CONSTRUCTION OF PREŠOV TUNNEL SECONDARY LINING

JIŘÍ BRICHŇÁČ, PETR HYBSKÝ

ABSTRAKT

Pomalu ale jistě se blíží okamžik, kdy se v jižním obchvatu města Prešova spojí dálniční úseky vedoucí k tomuto městu od Ružomberoku ze směru západního a od Košic ze směru jižního. Do provozu uvedený obchvat poslouží jednak motoristům, kteří nebudou muset absolvovat průjezd Prešovem a ve špičkách strpět jízdu v kolonách vyšších dopravních stupňů, a jednak bude také přínosem pro samotné město Prešov a jeho obyvatele, neboť v jeho ulicích dojde k výraznému snížení intenzity dopravy. Z důvodu, že průběh výstavby portálových částí a samotné ražby tunelů byl již popsán v několikerych odborných periodických, zaměřuje se předkládaný článek na průběh realizace sekundárního ostění tunelu Prešov.

ABSTRACT

Slowly but surely approaching is the moment when the motorway sections leading to Prešov from Ružomberok, from the west, and from Košice, from the east, will join in the southern by-pass of the town. After opening to traffic, the by-pass will serve the needs of motorists, who will not have to undergo the passage across Prešov and tolerate driving in columns of higher traffic degrees in rush hours. In addition, it will also benefit the town of Prešov itself and its inhabitants because of a significant reduction in traffic intensity on its streets. Due to the fact that the course of construction of portal parts and the excavation of tunnels has already been described in several professional periodicals, the presented paper is focused on the course of the construction of the secondary lining of the Prešov tunnel.

ZÁKLADNÍ ÚDAJE O TUNELU PREŠOV

Tunel Prešov je součástí téměř 8 km dlouhého stavebního úseku Prešov západ – Prešov jih. Na západní portál je navázán most dlouhý 471 m překračující údolí Malkovského potoka. Mostní objekt na tunel navazuje rovněž na východním portálu (obr. 1). Zde se jedná o nejdelší most celého budovaného úseku (650 m). Jedná se o vysouvanou konstrukci, která překračuje řeku Torysu, železniční trať Košice – Plaveč, silnici I/68 a potok Delňa.

Samotný tunel je konstrukcí složenou ze dvou ražených trub dvoupruhového profilu kategorie 2T 7,5 m, které jsou na dvou místech rozšířeny o nouzové zálivy, dále pak krátkých hloubených úseků v portálových částech a v neposlední řadě z osmi ražených

BASIC DATA ON PREŠOV TUNNEL

The Prešov tunnel is part of the nearly 8km long Prešov West – Prešov East construction section. A 471m long bridge crossing the Malkov stream valley links the western portal. A bridge structure links the tunnel also at the eastern portal (see Fig. 1). It is the longest bridge on the whole section under construction (650m). The launched bridge structure crosses the Torysa river, Košice-Plaveč rail track, the I/68 road and the Delňa brook.

The tunnel itself is a structure consisting of two mined tubes with circular cross-sections, category 2T 7.5m, with the tunnel width increased for two emergency lay-bys, further on of short cut-and-cover tunnels in the portal sections and, at last but not least, eight mined cross passages. The tunnel tubes lead through



Obr. 1 Letecký pohled na východní portál tunelu Prešov
Fig. 1 Aerial view of eastern portal of Prešov tunnel



Obr. 2 Tunel Prešov – ortofotomapa
Fig. 2 Prešov tunnel – orthophotomap

propojek. Tunelové trouby jsou vedeny skrze Malkovskou hôrku v osové vzdálenosti cca 40 m, v oblasti portálů pak 25 m. Situace tunelu v ortofotomapě je znázorněna na obr. 2.

Tab. 1 Parametry tunelů

typ tunelu	dvojitroubový tunel s jednosměrným provozem v každé trubě
druh tunelu	ražený tunel s krátkými hloubenými úseky
návrhová rychlost	100 km/h
délka STT	2230,5 m
délka JTT	2244 m
podélný sklon	2,80 % konstantní v celé délce
šířka vozovky mezi obrubníky	7,5 m
šířka chodníků	2×1,0 m
výška průjezdného profilu	4,8 m
světlná výška nad chodníky	2,2 m

DOKUMENTACE VE STUPNI DVP

DVP (Dokumentácia na vykonanie prác) je stupněm dokumentace, která zpřesňuje, doplňuje či optimalizuje stupeň dokumentace DRS (Dokumentácia realizácie stavieb). DVP pro betonáž dna a horní klenbu sekundárního ostění byla projektována podle podmínek zastižených během ražby obou tunelových trub. Na základě poznatků zjištěných během ražby a na základě použitých vstrojovacíh tříd primárního ostění bylo dno navrženo ve tvaru protiklenby vyplněné prostým betonem (obr. 3), ve vytípaných blocích jako protiklenba z armovaného betonu (obr. 4). Železobeton byl navržen v místech, kde byly ražbou zjištěné zvýšené konvergence primárního ostění a kde bylo třeba přistoupit k dodatečnému kotvení, případně k okamžitému uzavření celého profilu. Zároveň bylo armované dno navrženo v nouzových zálivech jižní i severní

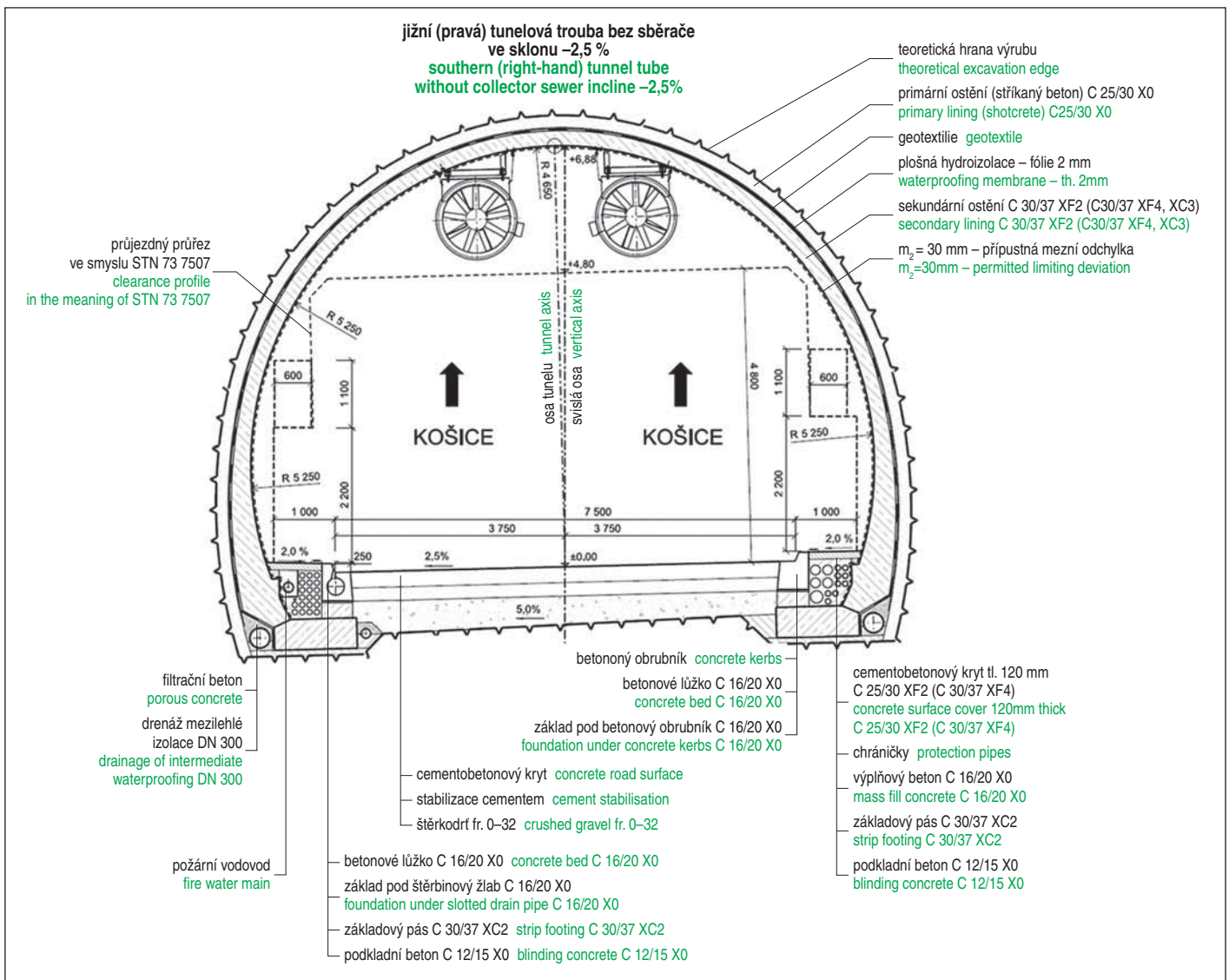
Malkovská Hôrka hill with about 40m and 25m between centres respectively in the areas of portals. The tunnel location is shown in the orthophotomap in Fig. 2.

Table 1 Parameters of tunnels

tunnel type	twin-tube with unidirectional traffic in each tube
tunnel kind	mined tunnel with short cut-and-cover sections
design speed	100km/h
NTT length	2230.5m
STT length	2244m
longitudinal gradient	2.80% constant throughout the length
kerb-to-kerb width	7.5m
width of walkways	2×1.0m
clearance profile height	4.8m
clearance height above walkways	2.2m

FINAL DESIGN DEGREE DOCUMENTATION

Final Design (FD) is the design stage refining, supplementing or optimising the Detailed Design (DD) designing stage. The FD for concreting the bottom and upper vault of secondary lining was carried out according to the conditions encountered during the excavation of both tunnel tubes. The bottom in the shape of an invert filled with mass concrete (see Fig. 3) or as a reinforced concrete invert in tipped blocks (see Fig. 4) was designed on the basis of the knowledge gathered during the excavation and on the basis of the excavation support classes applied. Reinforced concrete was designed for locations where increased convergence of primary lining was identified and where it was necessary to proceed to additional anchoring, possibly immediate closing the



Obr. 3 Tunel Prešov – vzorový příčný řez
 Fig. 3 Prešov tunnel – typical cross-section

tunelové trouby, které jsou situovány blíže východnímu portálu.

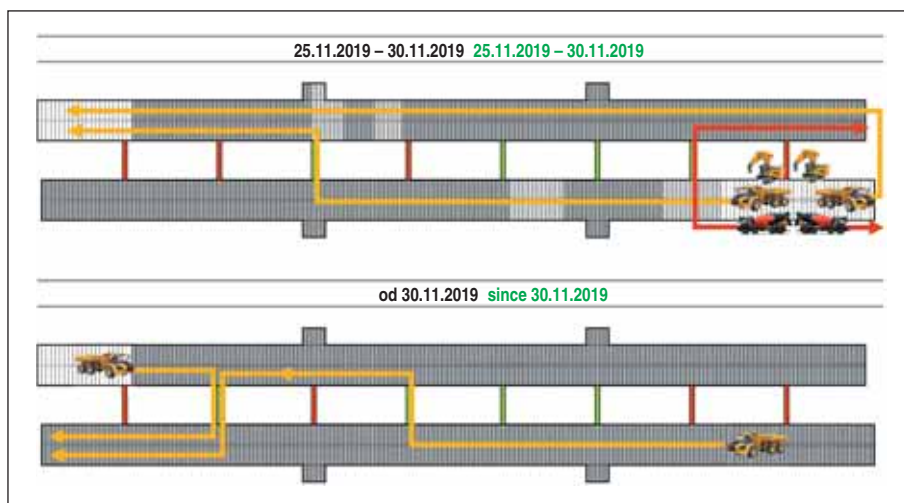
DVP horní klenby vycházela z té skutečnosti, že většina záběrů kaloty a opěří byla vystrojována třídou 5b. Všechny bloky byly tudíž navrženy jako vyztužené. Množství výztuže bylo optimalizováno na hmotnost 7 000 kg na standardní blok délky 12 m. Optimalizovány byly rovněž horní klenby sekundárního ostění propojek, v nichž byly realizovány jak horní klenby z betonů vyztužených, tak i nevyztužených.

BETONÁŽ VÝPLŇOVÝCH BETONŮ DNA A ZÁKLADOVÝCH PÁSŮ

V červnu roku 2019 byly proraženy obě tunelové trouby v úrovních kalot (STT 13. 6. 2019, JTT 18. 6. 2019) a zhruba s týdenním odstupem rovněž v úrovních opěří. Neprodleň po prorážkách byla v tunelových troubach postupně hloubena a po blocích betonována dna. Pro co nejvyšší urychlení prací byla dna prohlubována vždy minimálně na dvou



Obr. 4 Armatura spodní klenby
 Fig. 4 Invert concrete reinforcement



Obr. 5 Příklad grafického zobrazení organizace logistiky
Fig. 5 Example of graphic presentation of logistics organisation

místech dané tunelové trouby. Tento způsob prací kladl nároky na operativní koordinaci logistiky, neboť rubanina se odvážela na portál západní, naopak domíchávače betonové směsi zásobovaly veškerá pracoviště převážně z portálu východního. Pro snazší orientaci v organizaci logistiky byly vypracovávány grafické diagramy (obr. 5).

Dna byla betonována po jednotlivých blocích, jejichž pracovní spáry odpovídaly pracovním spárám bloků horních kleneb. S ohledem na již zmíněný fakt, že pracoviště na betonážích dna byla otevírána na několika místech současně, byl vždy první blok betonován do oboustranného čela, následující bloky byly přidávány s čelem jednostranným. Pro bednění čel výšky až 2 m byly používány nejen standardní betonové dílce, ale rovněž na stavbě připravený ocelový rám, do kterého byly osazovány a pevně klínovány dřevěné hranoly. Tento bednicí systém umožnil poměrně snadno se přizpůsobit nerovnostem výrubu dna (obr. 6).

Navazující konstrukcí na výplňové betony dna byly základové pásy, které byly navrženy jako armované. V případě dna z betonu



Obr. 6 Bednění čela bloku výplňového betonu dna
Fig. 6 Formwork of mass fill concrete block of bottom

whole profile. At the same time, the reinforced bottom was designed for emergency lay-bys in the southern and northern tunnel tubes, which are located closer to the eastern portal.

The FD for the upper vault was built on the fact that the majority of top heading and bench excavation rounds were supported applying excavation support class 5b. All blocks were therefore designed as reinforced structures. The amount of reinforcement was optimised to the weight of 7000kg per standard 12m long block. The upper vaults of secondary linings of cross passages, where upper vaults were carried out from both reinforced concrete and unreinforced concrete, were also optimised.

APPLICATION OF MASS FILL CONCRETE TO BOTTOM AND STRIP FOOTINGS

Excavation of tunnel tubes at the levels of top headings broke through in June 2019 (NTT on 13 June 2019; STT on 18 June 2019) and subsequently, with a lag of approximately one week, also at the levels of the benches. Immediately after the breakthroughs, bottoms were gradually deepened and concreted block by block. With the objective to speed up the work as much as possible, the bottoms were always deepened in at least two places of the particular tunnel tube. This system of work placed demands on operative coordination of logistics since the muck was transported to the western portal, while mix trucks supplied concrete to all working places mostly from the eastern portal. Graphic diagrams were prepared for easier orientation in the organization of logistics (see Fig. 5).

The bottoms were concreted in individual blocks, the expansion joints of which corresponded to expansion joints between the upper vault blocks. With respect to the above-mentioned fact that the concrete working places were opened concurrently at several places, the first block was always concreted into formwork with stop ends on both sides, the following blocks were added with the stop end on one side. Not only standard concrete segments were used for the stop end formwork up to 2m high, but also a steel frame prepared on site, with timber beams fastened and firmly wedged to it. This formwork system allowed for relatively easy adaptation of the formwork to irregularities of the bottom excavation (see Fig. 6).

Strip footings linking the mass fill concrete of the bottom were designed as reinforced structures. In the case of the unreinforced concrete bottom, the strip footings were bonded with it by longitudinal grooves pressed into initially set concrete with steel angle clips. On the contrary, at the reinforced concrete bottom the reinforcement of the strip foundations was part of the bottom reinforcement. The strip footings were 1.30m wide and 0.50m high. It was necessary in selected blocks to lead drainage pipes for draining groundwater through the foundation; in the other blocks the foundation was modified for installation of fire resistant shutters of the slotted drain pipes.

After completion of the concrete strip footing, the lower part of the vault waterproofing

prostého byly s ním základové pásy svázaný pomocí podélných drážek, které byly do zaváděho betonu vtlačeny ocelovými úhelníky. Naopak u dna železobetonového byla výztuž základových pásů součástí výztuže dna. Základové pásy byly široké 1,30 m a vysoké 0,50 m. Ve vybraných blocích bylo třeba skrz základ vést drenážní potrubí pro odvedení podzemní vody, v ostatních byl základ upraven pro pozdější osazení protipožární uzavěry štěrbinových žlabů.

Poté, co byl betonový pás zhotoven, byla na jeho stěnu situovanou k ostění tunelu osazena spodní část fóliové izolace klenby. Tento pás fóliové izolace byl provizorně přetažen přes základový pás. Teprve poté bylo možné osadit drenážní potrubí pro odvedení podzemní vody (obr. 7), zabetonovat oboustrannou kynetu a filtrační beton. Následně byla přes tuto skladbu drenážního systému přetažena fóliová izolace spodní části (tentokrát z provizorního uložení na uložení definitivní), na ni v dalším kroku navazovalo osazení izolace horní klenby tunelu. Oba díly (spodní i vrchní)



Obr. 7 Drenáž tunelu
Fig. 7 Tunnel drainage



Obr. 8 Bednicí vůz pro betonáž horní klenby
Fig. 8 Formwork traveller for concreting the upper vault

izolace byly svařeny k sobě. Těsnost svarů byla ověřována tlakovou zkouškou.

BETONÁŽ HORNÍ KLENBY DEFINITIVNÍHO OSTĚNÍ

Horní klenba definitivního ostění tunelu byla navržena z armovaného betonu třídy C 30/37, XF4, XC3 pro prvních 600 m tunelu, resp. C 30/37 XF2, XC3 v ostatních částech. Délka standardního bloku byla 12 m a výklenky, resp. krčky propojek, byly situovány vždy do příčné osy bloku, jak standardního, tak i zkráceného. Z důvodu usnadnění betonářských prací byla rovněž sjednocena velikost požárního výklenku a výklenku pro čištění drenáže.

Pro betonáž bloků horní klenby definitivního ostění byly zakoupeny dva identické bednicí vozy od rakouské firmy Östu Stettin (obr. 8). Každý bednicí vůz betonoval jednu tunelovou troubu v celé délce, jen s tím rozdílem, že forma pro severní tunel zahájila betonáž na východním portálu a postupovala směrem k západnímu, a tedy dovrchně, jižní tunel byl betonován v opačném směru, tedy úpadně.

V předstihu před nasazením bednicích vozů byly prováděny z pojízdné plošiny úpravy povrchů primárního ostění. To bylo zbaveno veškerých vyčnívajících ocelových prutů či háků, následně i veškerých zásahů do profilu tunelu a v neposlední řadě všech ostrých hran. Po převzetí povrchu primárního ostění zástupci TDI (Technický dozor investora) bylo možno přistoupit k instalaci

membrány byla připevněna k její stěně čelící tunelovému ostění. Tento pruh ochranné membrány byl dočasně přetáhnut nad pruhovou základnu. Teprve poté bylo možné instalovat drenáž pro evakuaci podzemní vody (viz obr. 7), zabudovat dvojbokou cunetu do spodní části betonu a nalít filtrací beton. Následně byla spodní část ochranné membrány přetáhnutá nad tuto strukturu drenážního systému (tentokrát z dočasné polohy do konečné polohy); v dalším kroku následovala instalace ochranné membrány horní klenby. Oba díly membrány (spodní a horní) byly svařeny vzájemně. Úniky ze svařů byly ověřeny hydraulickou zkouškou.

CONCRETING UPPER VAULT OF FINAL LINING

C 30/37, XF4, XC3 reinforced concrete was designed for the upper vault of the final tunnel lining in initial 600m long section of the tunnel, respectively C 30/37 XF2, XC3 in the other parts. The standard blocks were 12m long and recesses, respectively necks of cross passages, were situated always on the transverse axis of the block, both standard and shortened. In order to facilitate the concreting work, the size of the fire niche and the niche for cleaning the drainage was also unified.

Two identical formwork travellers from Austrian firm Östu Stettin were purchased for concreting the final lining blocks of the upper vault (see Fig. 8). Each formwork traveller concreted one tunnel tube throughout its length, only with the difference that the



Obr. 9 Betonáž horní klenby definitivního ostění
Fig. 9 Concreting of final lining upper vault

hydroizolace. Ta byla tvořena PVC fólií tl. 2 mm a byla kladena na ochrannou geotextilii.

V závěsu za izolační plošinou byla nasazena plošina armovací. Z ní byla vázána výztuž horní klenby. Veškeré práce izolační i armovací byly podřízeny taktu betonáže horní klenby, který byl nastaven na 24 hodin/1 blok.

S odstupem cca 10 bloků za armovací plošinou byla situována bednicí forma (obr. 9) pro betonáž bloků horní klenby. Bloky byly betonovány jeden za druhým s jednostranným čílkem tak, že k předchozí klenbě byla následující napojena pomocí „ocasných plechů“ (z německého výrazu Schwanzblech). Jedná se o plechy osazené gumovým profilem, jenž přesně zapadá do pracovní spáry mezi jednotlivými bloky. „Ocasní plech“ se k pracovní spáře uchytí v předstihu před osazením bednicí formy. Forma byla odbedňována po dosažení pevnosti tlaku betonu o hodnotě 6 MPa. V místech nouzových zálivů byl poslední blok dvoupruhového tunelového profilu betonován spolu s čelní stěnou. Forma byla poté přesunuta na opačný konec nouzového zálivu, kde byla zhotovena protější čelní stěna. Mezitím byla prováděna montáž rozšiřujícího rukávce bednicí formy pro betonáž nouzového zálivu. Po jeho smontování byla bednicí forma vrácena zpět, spojena s rukávцем a nouzový záliv byl dobetonován.

ORGANIZACE PROJEKTU V OBDOBÍ NOUZOVÉHO STAVU SPOJENÉHO S NEMOCÍ COVID-19

Poté, co byla zhotovena více než 1/3 celkového počtu bloků horní klenby dané tunelové trouby, byly zahájeny podbetonávky pro pozdější osazení šterbinových žlabů, resp. obrubníků. Zároveň byly nasazeny bednicí formy pro zhotovení horních kleneb propojek. V popisovaném období (březen 2020) došlo k situaci dosud nepoznané a v podstatě bezprecedentní. V České i Slovenské republice byl postupně vyhlášen nouzový stav, omezení volného pohybu a uzavření společných hranic. Jelikož ani tato mimořádná situace neumožňovala zhotoviteli zastavení stavby, bylo třeba nastalou situaci operativně řešit.

Zhotovitelská firma Metrostav a.s. přesunula pracovní kapacity podle jejich trvalého bydliště tak, aby měla na projektech realizovaných v té době co nejvíce pracovníků. Vedoucí THZ (techniko-hospodářský zaměstnanec) stavby museli stavbu řídit na dálku a techniky přímo na stavbě instruovat pomocí telefonních hovorů či videokonferencí, zároveň některé dílčí práce omezili tak, aby bylo možné se soustředit na činnosti kritické cesty.

Omezení, která na začátku roku 2020 potkala v podstatě celou oblast střední Evropy, také způsobila omezení dodávek stavebních materiálů, což byl další faktor, který negativně ovlivnil průběh stavby.

Přes zmíněné objektivní komplikace se zhotovitel Metrostav a.s. s nastalou situací vyrovnal velmi dobře a nastavenou úroveň kvality a rychlosti prováděných prací udržel i v nesnadném období. Za vše patří díky především zaměstnancům, kteří působili přímo na stavbě.

V průběhu května se díky udělené výjimce od ministerstva zdravotnictví Slovenské republiky dostali na stavbu vedoucí THZ pracovníci a projekt se po dovolné vracel do normálu.

INSTALCE OBRUBNÍKŮ A ŠTERBINOVÝCH ŽLABŮ, BETONÁŽ KABELOVODŮ

S postupujícím časem a počtem zabetonovaných horních kleneb se v jejich závěsu otevírala další pracoviště. Na základové pásy se realizovaly podbetonávky, které sloužily jako základy pro osazení obrubníků, resp. šterbinových žlabů. Šterbinové žlaby byly

formwork for the northern tunnel started concreting at the eastern portal and proceeded toward the western portal, i.e. uphill; the southern tunnel was concreted downhill in the opposite direction.

Treatment of surfaces of the primary lining was carried out in advance from a travelling hoisting platform. All protruding steel bars and hooks were removed from the surface; subsequently also all interferences with the tunnel profile and, at last but not least, all sharp edges were removed. After taking over the surface of primary lining by the representatives of client's supervision team, it was possible to proceed to install of the waterproofing system. It was formed by a 2mm thick PVC membrane and was placed a protective geotextile.

The gantry-type reinforcement-installation travelling scaffold followed the scaffold to install the waterproofing membrane. Reinforcement bars of the upper vault was tied from the gantry. All waterproofing and reinforcement installation operations were subordinate to the cycle of concreting of the upper vault, which was set to 24 hours per block.

The formwork for concreting the upper vaults (see Fig. 9) was located ca 10 blocks behind the reinforcement-installation scaffold. The blocks were concreted one after the other with a one-sided stop end, with the following block connected by means of tail steel sheets (from German term Schwanzblech). The sheets were provided with a rubber section exactly fitting into the expansion joint between individual blocks. The tail sheet was attached to the expansion joint in advance of the formwork installation. The formwork was removed after reaching compressive strength of concrete of 6MPa. In the locations of lay-bys, the last block of the double-tube tunnel profile was concreted together with the transversal front wall. The formwork was subsequently moved to the opposite end of the emergency lay-by, where the opposite wall was carried out. An extension sleeve of the formwork for concreting the emergency lay-by was assembled in the meantime. After the completion of the assembly, the formwork was returned back, connected with the sleeve and concreting of the emergency lay-be was finished.

ORGANISATION OF THE PROJECT DURING THE COURSE OF EMERGENCY STATE ASSOCIATED WITH COVID-19 DISEASE

After completion of over 1/3 of the total number of the upper vault blocks of the particular tunnel tube, the work on concreting the beds or on subsequent installation of slotted drain pipes and kerbs commenced. At the same time, formwork sets were deployed for concreting the upper vaults of cross passages. In the described period (March 2020), a situation not yet known and essentially unprecedented emerged. State of emergency, restrictions on free movement and a closure of common borders were gradually declared in the Czech and Slovak Republics. Because of the fact that even this extraordinary situation did not allow the contractor to stop the work, it was necessary to solve the new situation operatively.

The contractor, Metrostav a.s., shifted the working capacities according to their permanent residences so that it had as many employees as possible on the projects being implemented at that time. Construction managers had to control the construction remotely and instruct the technicians present directly on construction site by telephones or videoconferences; at the same time they restricted some partial operations so that it was possible to focus on activities on the critical path.

The restrictions that hit virtually the whole of Central Europe at the beginning of 2020 also caused a reduction in the supply of building materials, which was another factor that negatively affected the construction.



Obr. 10 Závěrečný betonovaný blok horní klenby v raženém úseku STT
Fig. 10 Final concreted block of upper vault in the mined NTT section

instalovány na tu stranu, k níž byla vozovka klopená, a obrubníky potom logicky na stranu opačnou. Po přesné rektifikaci provedené pod dohledem geodeta byly betonové prefabrikáty štěrbinových žlabů, resp. obrubníků, podlévány zálivkovou směsí. Přesné osazení zmíněných konstrukcí je důležité pro pozdější navádění finišeru pokládajícího vozovkové vrstvy. Štěrbinové žlaby a obrubníky zároveň slouží jako jakési ztracené bednění konstrukcí kabelovodů. Kabelovody byly vytvořeny sestavou plastových chrániček, které byly následně zality do monolitického betonu. Po jejich zabetonování bylo třeba každou jednotlivou chráničku kalibrovat průtahem předepsaného kalibračního tělíska, čímž se prokazovala průchodnost všech chrániček pro tahání kabelů. Stejný postup se používal i v případě chrániček vedených po obvodě horních kleneb.

Betonáž horních kleneb v ražené části STT byla dokončena 9. 6. 2020 (obr. 10). Neprodleně poté byl bednicí vůz demontován a odvezen, aby uvolnil místo pro navazující práce spočívající v betonáži bloků hloubených úseků, pro něž byla použita zvláštní forma. Forma pro hloubené tunely byla navržena tak, aby umožňovala v jednom taktu betonovat rovněž výklenky. Konstrukce bednění proto kombinovala překližkové ramenáty a ocelové výklenkové dílce, aby bylo možno této konstrukce dosáhnout. Hloubené bloky se betonovaly nejprve na severní a jižní tunelové troubě na stranách přilehlých k technologickým objektům východního a západního portálu. To proto, aby bylo co nejdříve možné zahájit instalaci kabelů technologické části právě z technologických objektů do tunelů.

STAVEBNÍ PŘIPRAVENOST PRO TECHNOLOGICKOU ČÁST

Z důvodu dodržení termínu pro dokončení a zprovoznění díla se po určitou dobu překrývaly práce stavební a práce technologů. Na jednotlivých koordinačních jednáních byla domluvena posloupnost předávání jednotlivých stavebních úseků podle potřeb technologů. Časovým milníkem zhotovitele jsou rovněž práce na jednotlivých vozovkových vrstvách. Splnění těchto termínů vyžadovalo současnou rozpracovanost na více pracovištích lokalizovaných

Despite the above-mentioned objective complications, the contractor, Metrostav a.s., coped very well with the situation and maintained the set level of quality and speed of work even in the difficult period. Thanks are owed in particular to the employees who worked directly on the construction site.

During the course of May, thanks to an exemption granted by the Ministry of Health of the Slovak Republic, the managers got to the construction site and the project gradually returned to normal.

INSTALLATION OF KERBS AND SLOTTED DRAIN PIPES, CONCRETING CABLE TROUGHS

With the advancing time and the number of finished upper vaults, other workplaces opened subsequently. Concrete beds were carried out on the strip footings to serve as foundations for installation of kerbs, respectively slotted drains. The slotted drains were installed on the side to which the roadway surface transversally descends, while kerbs were logically installed on the opposite side. After precise rectification performed under the supervision of a surveyor, grout mix was poured under the pre-cast concrete slotted drain pipes and kerbs. Accurate placement of the above-mentioned structures is important for subsequent guidance of the slipform paver installing the roadway courses. The slotted pipes and kerbs at the same time serve as a kind of sacrificial formwork for cable duct structures. The cable ducts were created by an assembly of plastic casing pipes with concrete subsequently poured on them. After incorporating them into unreinforced concrete, each individual casing pipes had to be calibrated by pulling a prescribed calibration instrument through it, which proved passability of all casing pipes for pulling of cables through. The same procedure was applied in the case of the casing pipes installed on the circumference of the upper vaults.

Concreting of upper vaults in the mined part of the NTT was finished on 9 June 2020 (see Fig. 10). Immediately afterwards, the traveller formwork was disassembled and transported away to make room for follow-up work lying in concreting the blocks of cut-and-cover sections, for which a special formwork was used.



Obr. 11 Tunelová trouba po zhotovení nátěrů
Fig. 11 Tunnel tube after application of paint

v podstatě na celou délku obou tunelových trub. Probíhaly práce na osazování obrubníků a štěrbínových žlabů, betonáži kabelovodů, dělicích stěn a příček v propojkách, stěn v SOS výklencích, ukládky drenáže pláně vozovky či realizaci spádových betonů pod vozovkou.

Rozsah prací a četnost pracovišť, s ohledem na omezenou možnost přístupu do tunelových trub na portálech, vyžadoval poměrně podrobné plánování prací a logistiky v tunelu. Z tohoto důvodu připravovali stavbyvedoucí podrobný směnový harmonogram na každý pracovní turnus. Tento harmonogram se operativně upravoval a zpřesňoval v reakci na nastalé situace během provozních porad při střídání denní a noční směny. Stavební práce pro předávání dílčích celků technologům se díky tomu dařilo realizovat v dohodnutých termínech.

ZÁVĚR

Tunel Prešov je pro firmu Metrostav a.s. třetím budovaným tunelem v období posledních pěti let ve Slovenské republice (obr. 11). Stejně jako na předchozích projektech (Tunel Poľana a Tunel Žilina) prokázali její pracovníci vysokou profesionalitu při provádění tohoto druhu podzemních staveb. Dosažené rychlosti ražeb i betonáží definitivního ostění jsou směle srovnatelné s dosahovanými rychlostmi v tunelářském světě ve vyspělých zemích.

Ing. JIŘÍ BŘICHŇÁČ, jiri.brighnac@metrostav.cz,
Ing. PETR HYBSKÝ, petr.hybsky@metrostav.cz,
Metrostav a.s., divize 5

Recenzoval / Reviewed: Ing. Vladimír Prajzler

The formwork for cut-and-cover tunnels was designed in a way allowing also concreting of recesses in one concreting cycle. The formwork structure for that reason combined plywood templates with steel components for recesses so that it was possible to manage this structure construction. The cut-and-cover blocks were first concreted on the northern and southern tunnel tube on the sides adjacent to the technical service objects at the eastern and southern portals. This is so that the installation of cables for tunnel equipment leading from the service objects to the tunnels could start as soon as possible.

CONSTRUCTION PREPAREDNESS FOR TUNNEL EQUIPMENT PART

Because of meeting the deadline for completion and commissioning of the work, the construction work and the work of technologists overlap for some time. The sequence of handing individual construction sections over according to the needs of technologists was agreed at individual coordination meetings. The work on individual roadway layers is also a contractor's milestone.

Meeting the deadlines required simultaneous work at multiple workplaces located in substance throughout the length of both tunnel tubes. The work on the installation of kerbs and slotted drain pipes, concreting of cableways, dividing walls and partitions in the cross passages, walls in emergency niches, laying the drainage of the roadway formation level or placing of sloped concrete under the roadway were underway.

The extent of the work and the number of working places required, with respect to the limited possibility of access ways to the tunnels at portals, relatively detailed planning of work and logistics in the tunnels. For that reason, site managers prepared a detailed schedule for each work shift. This schedule was operatively adapted and refined during operational meetings held at the alternation of day and night shifts, in reaction to the situations that arose. Thanks to this, the construction work for the handover of partial wholes to technologists was successfully completed on the agreed dates.

CONCLUSION

For Metrostav a.s., the Prešov tunnel is the third tunnel constructed in the period of previous five years in the Slovak Republic (see Fig. 11). As on previous projects (the Poľana tunnel and the Žilina tunnel), its employees have demonstrated high professionalism in this type of underground construction. The achieved rates of tunnel excavation advance and concreting of the final lining are boldly comparable with the rates achieved in the tunnelling world of developed countries.

Ing. JIŘÍ BŘICHŇÁČ, jiri.brighnac@metrostav.cz,
Ing. PETR HYBSKÝ, petr.hybsky@metrostav.cz,
Metrostav a.s., divize 5

LITERATURA / REFERENCES

- [1] JUHÁS, B. *Diaľnica D1 Prešov západ – Prešov juh*. Dokumentácia na realizáciu stavby. Sprievodná správa. 2014
- [2] HYBSKÝ, P. *Výstavba tunelu Prešov*. *Inžinierske stavby*, 2019

ZKUŠENOSTI Z GEOTECHNICKÉHO MONITORINGU RAŽEB ŽELEZNIČNÍHO TUNELU DEBOREČ

EXPERIENCE FROM GEOTECHNICAL MONITORING OF DEBOREČ RAIL TUNNEL EXCAVATION

MILAN KÖSSLER, ALEŠ VÍDEŇSKÝ

ABSTRAKT

V létě roku 2018 byla zahájena modernizace 4. železničního koridoru v úseku Sudoměřice u Tábora – Votice. V rámci napřimování stávající tratě je prakticky celý modernizovaný úsek veden v nové trase v kopcovité krajině České Sibiře. Pro překonání členitého terénu byly navrženy dva nové dvoukolejné tunely Mezno a Deboreč. Tunely byly raženy konvenčně, observační metodou NRTM, jejíž součástí byl i soubor geotechnických měření a sledování horninového masivu. Tunel Mezno má celkovou délku 840 m, délka tunelu Deboreč činí 660 m. V době přípravy článku (druhá polovina srpna 2020) byly již kaloty obou tunelů proraženy. Na tunelu Deboreč jsou ukončeny i ražby opěří a dna. Zatímco kalota tunelu Mezno byla vyražena bez větších problémů a překvapení, na tunelu Deboreč se účastníci výstavby museli vypořádat s řadou problémů způsobených přítomností výrazné tektonické zlomové zóny v profilu tunelu. Na problematiku průchodu touto poruchou se především zaměřuje tento článek. Po předání této části železnice do provozu (termín dokončení leden 2022), zůstane na trati z Českých Budějovic do Prahy nedokončený úsek Nemanice – Ševětín (v současnosti ve stadiu přípravy) a úsek Soběslav – Doubí u Tábora (v současnosti modernizován, termín dokončení červenec 2023).

ABSTRACT

The modernisation of the Sudoměřice u Tábora – Votice section of the railway corridor No. 4 commenced in the summer of 2018. Virtually entire section being modernised is led in a hilly countryside of the Česká Sibiř within the framework of straightening the existing track. Two new double-track tunnels, the Mezno and the Deboreč, were designed for overcoming the rugged terrain. The tunnels were driven conventionally using the NATM observational method, a part of which was also a set of geotechnical measurements and monitoring of the ground mass. The Mezno tunnel is 840m long, the length of the Deboreč tunnel amounts to 660m. At the time of preparation of the paper (second half of August 2020), the top headings of both tunnels had already been broken through. In addition, the excavation of the bench and bottom has been finished in the Deboreč tunnel. Whilst the top heading of the Mezno tunnel was excavated without more significant problems and surprises, the Deboreč tunnel had to deal with numerous problems caused by the presence of a significant tectonic fault zone in the tunnel cross-section. This paper is primarily focused on problems of the passage through the fault zone. After handing of this part of the railway over for operation (completion deadline January 2022), the Nemanice – Ševětín section (currently at the stage of preparation) and the Soběslav – Doubí u Tábora section near Tábor (currently under modernisation, completion deadline July 2023) will remain unfinished on the track from České Budějovice to Prague.

ÚVOD

Jedním z objektů modernizovaného 4. železničního koridoru v úseku Sudoměřice u Tábora – Votice je tunel Deboreč ležící mezi obcemi Ješetice, Horní Borek, Nové Dvory, Říkov a Radíč. Tunel podchází pod vrchem Deboreč s nadmořskou výškou 598 m n. m., výška terénu v místě portálů je okolo 560 m n. m. Situování tunelu je patrné z obr. 1.

Stavební práce byly na tunelu Deboreč zahájeny v červenci 2018 hloubením pažené stavební jámy výjezdového portálu, ražba započala v lednu roku 2019 ze strany výjezdového portálu, prorážka kaloty proběhla v únoru roku 2020.

Tento článek navazuje na příspěvek autorů v časopisu Tunel 3/2019 [1] a důraz klade především na popis komplikací ražeb, spojených se zastížením geologické poruchy. Tato výrazná tektonická linie, průzkumnými pracemi neindikovaná, přinesla obtíže v podobě nestability nezajištěných částí výrubů a zvýšených deformací horninového masivu a primárního ostění.

Investorem představovaného projektu je Správa železnic, státní organizace, generálním zhotovitelem stavebních prací je společnost OHL ŽS, a.s. Podzhotovitelem stavebních prací tunelu Deboreč je společnost Tubau, a.s. Geotechnický monitoring a geotechnický dohled na tunelu provádí společnost SG Geotechnika, a.s. Na projekčních pracích tunelu Deboreč se podílely organizace

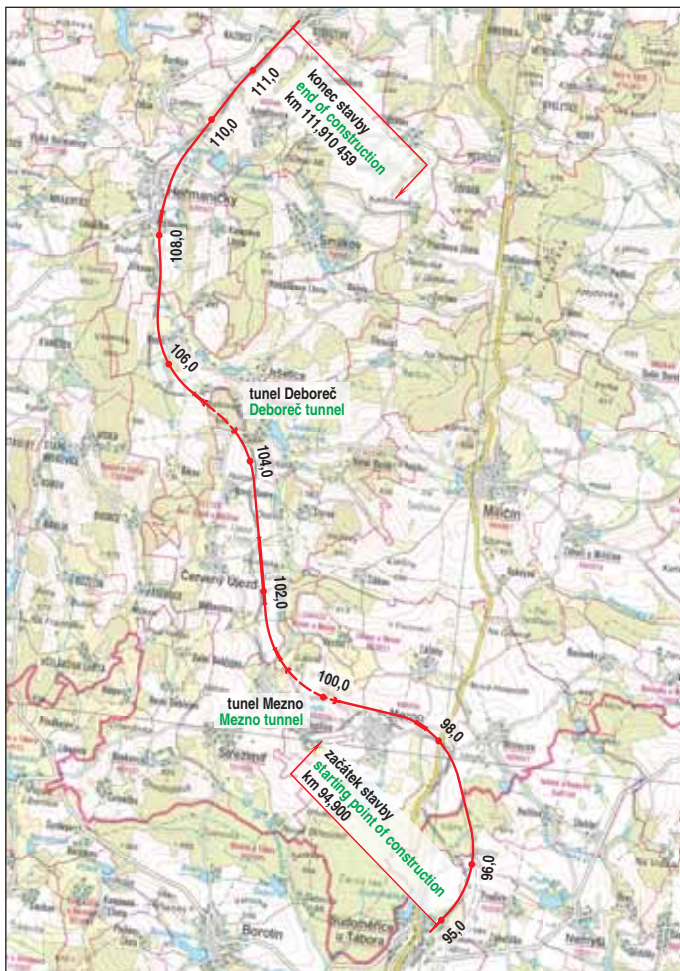
INTRODUCTION

The Deboreč tunnel located between the villages of Ješetice, Horní Borek, Nové Dvory, Říkov and Radíč is one of the structures on the railway corridor No. 4 being modernised. The tunnel passes under Deboreč hill with the altitude of 598m a.s.l.; the elevation of the terrain in the locations of tunnel portals is about 560m a.s.l. The tunnel location is obvious from Fig. 1.

The construction work on the Deboreč tunnel commenced in July 2018 by the excavation of the braced construction pit for the exit portal. The tunnel excavation started from the exit portal in January 2019; the top heading breakthrough took place in February 2020.

This paper is a follow-up to the paper by the authors published in TUNEL journal 3/2019 [1]. Stress is put first of all on the description of the excavation complications associated with encountering a geological fault. This significant tectonic line, which had not been identified by survey, brought difficulties in the form of lack of stability of unsupported parts of the excavated openings and increased deformations of the ground massif and primary lining.

Správa železnic, state organisation (railway administration), is the project owner, OHL ŽS, a.s., is the general contractor for construction work. Tubau, a.s., is the sub-contractor for construction work on the Deboreč tunnel. Geotechnical monitoring



zdroj zadávací dokumentace, Sudop Praha, a.s. source tender documentation, Sudop Praha, a.s.

Obr. 1 Situace širších vztahů
Fig. 1 Situation of wider relationships

METROPROJEKT Praha, a.s., coby zpracovatel dokumentace pro zadání stavby a MPI projekt s.r.o., coby zpracovatel realizační dokumentace stavby.

POPIS ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ DÍLA

Konstrukce tunelu Deboreč je tvořena dvěma portálovými úseky budovanými v otevřené stavební jámě a úsekem raženým Novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM). Pro přehlednost bylo na tunelu zavedeno staničení v tunelmetrech (TM), které je nezávislé na oficiálním staničení tratě. TM 0,0 je v místě definitivního výjezdového (tj. pražského) portálu, počátek ražby byl v místě dočasného výjezdového portálu v TM 49,0. Délka konstrukce hloubených částí je 49 m na vjezdovém (jihovýchodním) portálu i na výjezdovém (pražském, severozápadním) portálu. Ražený tunel je navržen v délce 562 m. Celková délka tunelu v jeho ose je tedy 660 m. Výška stěny raženého portálu je na vjezdu 16,1 m (nadloží 6,9 m), na výjezdu 16,8 m (nadloží 7,0 m). Maximální výška nadloží raženého tunelu je cca 47 m ve staničení TM 290.

Profil tunelu je horizontálně členěn na kalotu, opěři a dno. V podélném směru byla vzdálenost čeleb jednotlivých dílčích výrubů závislá na zastižených geologických podmínkách, respektive na technologické třídě výrubu (dále TTV), kde nejkratší délka záběru byla v TTV 5b (0,8–1,0 m) a nejdelší v TTV 2 (2,0–2,2 m). Ražba tunelu probíhala dovrčně od výjezdového portálu směrem k vjezdovému portálu. Zastoupení jednotlivých TTV v kalotě po délce raženého tunelu (TM 49 až TM 611) je zpracováno v tab. 1.

and geotechnical supervision over the tunnel is conducted by SG Geotechnika, a.s., METROPROJEKT Praha, a.s., participated in designing for the Deboreč tunnel in the position of the author of design for tendering; MPI projekt s.r.o. was the author of the design of means and methods.

DESCRIPTION OF BASIC PARAMETERS OF THE WORK

The Deboreč tunnel structure is formed by two portal sections built in an open construction pit and a section mined using the New Austrian Tunnelling Method (NATM). The chainage measured in tunnelmetres (TM) was introduced in the tunnel for the purpose of clarity. It is independent of the official chainage of the track. TM 0.0 is found at the final exit portal (i.e. the Prague portal), while the beginning of the tunnel excavation was at the temporary exit portal at TM 49.0. The length of the cut-and-cover parts amounts to 49m at the entrance (southeastern) portal and 49m at the exit (Prague, northwestern) portal. The mined tunnel design length amounts to 562m. The total length of the tunnel on its centre line is therefore 660m. The walls of the mined portals at the entrance and exit are 16.1m high (overburden 16.1m high) and 16.8m high, respectively. The maximum height of the mined tunnel overburden amounts to ca 47m at TM 290 chainage.

The tunnel cross-section is divided horizontally into top heading, bench and bottom. Longitudinally, the distances between individual partial excavation faces depended on the geological conditions encountered, respectively on the excavation support class (hereinafter referred to as ESC), where the shortest excavation round length was at ESC 5b (0.8–1.0m) and the longest at ESC 2 (2.0–2.2m). The tunnel excavation proceeded uphill from the exit portal towards the entrance portal. The representation of individual ESCs throughout the length of the mined tunnel top heading (TM 49 to TM 611) is processed in Table 1.

Table 1 Representation of individual ESCs in top heading (Kössler, 2020)

tunnelmeter (TM)	ESC	length (m)
49.0 to 108.0	5b1	59.0
108.0 to 151.4	5a	43.4
151.4 to 188.3	4	36.9
188.3 to 193.6	3	5.3
193.6 to 353.2	2	159.6
353.2 to 374.0	3	20.8
374.0 to 384.8	4	10.8
384.8 to 389.7	5a	4.9
389.7 to 425.0	5b1	35.3
425.0 to 426.4	4	1.4
426.4 to 548.3	3	121.9
548.3 to 611.0	4	62.7

The tunnel lining is a double-shell structure with intermediate waterproofing membrane. The primary lining is formed by sprayed concrete layers 150, 200, 250, 300 and 400mm thick (for individual ESCs) reinforced with welded mesh, lattice girders, rockbolts, spiling and, in the case of the NATM excavation support class 5b, even by face-supporting anchors and canopy tube pre-support. The most subtle lining was designed for ESC 2, while ESC 5b is most massive. The secondary lining will be carried out by pouring concrete behind formwork. It will be 350mm thick for NATM ESCs 2 to 5a; thickness of 450mm is for class 5b. The length of concrete casting blocks of the final lining is set uniformly for the whole tunnel at 12m.

Tab. 1 Zastoupení jednotlivých TTV v kalotě (Kössler, 2020)

tunelový metr (TM)	TTV	délka (m)
49,0 až 108,0	5b1	59,0
108,0 až 151,4	5a	43,4
151,4 až 188,3	4	36,9
188,3 až 193,6	3	5,3
193,6 až 353,2	2	159,6
353,2 až 374,0	3	20,8
374,0 až 384,8	4	10,8
384,8 až 389,7	5a	4,9
389,7 až 425,0	5b1	35,3
425,0 až 426,4	4	1,4
426,4 až 548,3	3	121,9
548,3 až 611,0	4	62,7

Ostění tunelu je dvouplášťové s mezilehlou fóliovou izolací. Primární ostění je tvořeno stříkaným betonem tloušťky 150, 200, 250, 300 a 400 mm (pro jednotlivé TTV) vyztuženým svařovanými sítěmi, příhradovými nosníky, svorníky, jehlováním a v případě technologické třídy NRTM 5b i s čelbovými kotvami a mikropilotovým deštníkem. Nejsubtilnější ostění je navrženo pro TTV 2, nejmasivněji je vystrojená TTV 5b. Sekundární ostění bude realizováno monoliticky do bednění s tloušťkou 350 mm pro technologické třídy NRTM 2 až 5a a tloušťkou 450 mm pro třídu 5b. Délka bloku betonáže definitivního ostění je stanovena jednotně pro celý tunel a činí 12 m.

STRUČNÝ PŘEHLED ČINNOSTÍ GEOTECHNICKÉHO MONITORINGU

Mimo konvergenční měření, která jsou zmíněna v následující kapitole, byly na tomto tunelu aplikovány i další typy kontrolních měření.

Hloubené části tunelu Deboreč byly provedeny s kotvenou záporovou konstrukcí. Na portálech byly v průběhu stavebních prací sledovány pohyby stěn na 3D geodetických bodech (40 bodů na každém portálu) a na vybraných kotvách byly měřeny síly v kotvách na dynamometrech (pět dynamometrů na každém portálu). Oba portály jsou navíc sledované inklinometricky. Dva inklinometry jsou instalovány na vjezdovém portálu, jeden je instalován na výjezdovém portálu. Hodnoty deformací na stěnách pažené jámy výjezdového portálu dosahovaly v jednotlivých složkách (podélná, příčná, svislá) převážně hodnot do 20 mm. Pouze u portálové stěny vjezdového portálu byla nad výrubem tunelu naměřena hodnota sedání 23 mm, čímž byl nepatrně překročen první varovný stav stanovený na hodnotu 20 mm vyklonění/zatlačení/sedání portálové stěny. Na inklinometrech byly naměřeny deformace v hodnotách do 11 mm. První varovný stav, stanovený na hodnotu 20 mm vyklonění inklinometru do jámy, tedy dosažen nebyl.

Na povrchu nad tunelem byly instalovány dva profily sružené z extenzometrů a z nivelačních bodů v TM 59,5 a TM 438. Jeden profil zahrnoval tři extenzometry a jedenáct nivelačních bodů (celkem šest extenzometrů a 22 nivelačních bodů pro oba profily). V obou profilech byl prostřední extenzometr instalovaný v ose tunelu a byl trojúhelníkový, dva krajní extenzometry byly instalovány vždy 4,8 m vpravo a vlevo od osy tunelu a byly čtyřúhelníkové. Tři nivelační body byly u obou profilů instalovány na hlavách extenzometrů a po čtyřech bodech bylo instalováno dále vpravo a vlevo od trojice extenzometrů, aby byla pokryta celá poklesová kotlina. Na profilu v TM 59,5 situovaném v oblasti nízkého nadloží (mocnost nadloží v TM 59,5 činila cca 7,6 m) v blízkosti vjezdového portálu

BRIEF OVERVIEW OF GEOTECHNICAL MONITORING ACTIVITIES

Apart of the convergence measurements mentioned in the following chapter, even other types of check measurements were applied to this tunnel.

An anchored soldier beam and lagging structure was carried out for the cut-and-cover parts of the Deboreč tunnel. At the portals, movements of walls were monitored during the course of construction work on 3D survey points (40 points at each portal) and forces in selected anchors were measured with dynamometers (five dynamometers at each portal). Both portals are in addition monitored with inclinometers. Two inclinometers are installed at the entrance portal, one is installed on the exit portal. The values of deformations measured on the walls of the braced pit for the exit portal reached in individual displacement components (longitudinal, transverse, vertical) up to 20mm. The settlement value of 23mm was measured only above the tunnel excavation at the entrance portal wall. It slightly exceeded the first warning state set at 20mm of tilting out/pressing in/settling of the portal wall. Deformation values up to 11mm were measured on the inclinometers. It means that the first warning state, which was set at the value of 20mm of inclinometer tilting to the pit, was not reached.

Two combined profiles consisting of extensometers and levelling points at TM 59.5 and TM 438 were installed on the surface above the tunnel. One profile comprised three extensometers and eleven levelling points (six extensometers and 22 levelling points in total for both profiles). The middle extensometer installed at both profiles on the tunnel centre line was of the three-level type, while both side extensometers which were installed on the left and right sides, 4.8m from the tunnel centre line, were of the four-level type. At both measure profiles, three levelling points were installed on the heads of extensometers and four points were installed to the right and left of the three extensometers so that the whole settlement trough was covered. On the profile at TM 59.5 located in the area of low overburden (overburden thickness at TM 59.5 amounted to ca 7.6m) in the vicinity of the entrance portal, the terrain settlement up to 22mm was measured on the tunnel centre line. On the profile at TM 438 with high overburden (overburden at TM 438 was ca 28.4m high) negligible settlement with the values of initial millimetres was measured on the tunnel centre line. Therefore the first warning state of terrain settlement set at the value of 25mm was not reached. At the lower measured levels of the extensometers installed in the ground mass at the distances of 1.5m, 3.0m, 4.5m and 6.0m above the theoretical contour of the tunnel, 33mm settlement was measured at the profile at TM 59.5m and up to 20mm at the profile at TM 438. The warning states of the ground massif in the immediate vicinity of the excavation were reached on neither profile. The first warning state value for the profile excavation was categorised as support class ESC 5b1 (TM 59.5) amounted to 130mm. The first warning state for the profile belonging to TM 438 (ESC 3) amounted to 40mm.

For the purpose of excluding negative effects of tunnelling on buildings in the vicinity, a condition survey of five buildings adjacent to the entrance portal (cadastral district of Horní Borek) and eleven buildings in the cadastral district of Ješetice was carried out before the beginning of blasting. The effect of vibrations induced by blasting on buildings in the surroundings was observed on two properties adjacent to the tunnel throughout the tunnel excavation period by continuous monitoring of each blasting event. Throughout the period of seismic monitoring the vibration velocity measured on both seismic stations fluctuated under the value of 0.5mm/s. The measured values of dynamic load were fully within the permissible

bylo naměřeno sedání terénu v ose tunelu do 22 mm. Na profilu v TM 438 s vysokým nadložím (mocnost nadloží v TM 438 činila cca 28,4 m) bylo v ose tunelu naměřeno zanedbatelné sedání terénu v hodnotách prvních milimetrů. První varovný stav sedání terénu stanovený na hodnotu 25 mm tedy dosažen nebyl. Na spodních měřených úrovních extenzometrů instalovaných v horninovém masivu ve vzdálenostech 1,5 m, 3,0 m, 4,5 m a 6,0 m nad teoretickým obrysem tunelu bylo naměřeno na profilu v TM 59,5 sedání do 33 mm a na profilu v TM 438 sedání do 20 mm. Varovné stavy deformací horninového masivu v bezprostředním okolí výrubu nebyly na obou profilech dosaženy. První varovný stav pro profil náležející TTV 5b1 (TM 59,5) činil 130 mm. Pro profil v TM 438 (TTV 3) činil první varovný stav 40 mm.

Pro vyloučení negativních účinků od tunelování na okolní zástavbu byl před zahájením trhacích prací proveden pasport pěti objektů přilehlých vjezdovému portálu (katastrální území Horní Borek) a jedenácti domů v katastrálním území Ješetice. Vliv otřesů od trhacích prací na okolní zástavbu byl po celou dobu ražby monitorován kontinuálním sledováním každého odstřelu na dvou nemovitostech přilehlých k tunelu. Po celou dobu seismického monitoringu se rychlosti kmitání na obou seismických stanicích pohybovaly pod hodnotou 0,5 mm/s. Naměřené hodnoty dynamického zatížení byly zcela v přípustných mezích dle ČSN 73 0040 pro stupeň porušení «0», tj. s vyloučením možnosti vzniku poškození z titulu provádění trhacích prací pro objekty třídy odolnosti „B“ (běžné cihelné stavy), resp. „A“ (stavby v horším stavebně-technickém stavu). V průběhu odstřelů bylo rovněž třikrát provedeno kontrolní měření akustických účinků od trhacích prací s výsledkem okolo 50 dB pro denní dobu a okolo 60 dB pro noční dobu. Varovné stavy jsou u akustických účinků převzaty z nařízení vlády 272/2011 Sb., kde jsou stanoveny limitní hodnoty pro denní dobu 83 dB a pro noční dobu 40 dB. Noční odstřely tedy nebylo možno provádět, trhací práce byly realizovány pouze v době od 6:00 h do 22:00 h.

V rámci hydrogeologického monitoringu okolních objektů je od jara 2017 prováděno měsíční sledování hladin vodních zdrojů v potenciální zóně ovlivnění ražbami. V letech 2017, 2018, 2019 lze pozorovat dlouhodobý pokles hladin vody u řady studní, který se zastavil až v letošním roce. U monitorovaných objektů byly samozřejmě naměřeny rovněž sezónní výkyvy, kdy v jednotlivých letech docházelo k úbytku vody v letních měsících a nárůstu hladin v zimním období. Lze konstatovat, že úroveň hladin korespondovala s úhrnem srážek v jednotlivých letech (suché roky 2017 až 2019, deštivý rok 2020) a rovněž se sezónními srážkovými a teplotními výkyvy. Ovlivnění okolních vodních zdrojů tunelováním nebylo prokázáno.

Pro zdokumentování skutečného tvaru obnaženého výrubu, a tedy i případného množství nadvýrubů (podvýrubů), byl každý záběr zaměřen geodetickým přístrojem profiler. Po dokončení ražeb byl pak naskenován povrch primárního ostění, aby bylo možno určit místa, kde je povrch primárního ostění v kolizi s budoucím rubem sekundárního ostění, a tato místa vyfrézovat.

Součástí komplexního geotechnického monitoringu tunelu Deboreč bylo dále kontinuální inženýrskogeologické sledování kvality horninového masivu. Dokumentován byl každý stavební postup s výstupem v podobě fotodokumentace a geotechnického pasportu s nákresem čelby, textovým záznamem zjištěných skutečností, zhodnocením kvality horninového masivu podle zásad klasifikace RMR a komentáři či doporučeními ohledně technologických opatření a prvků, které přímo ovlivňují podmínky ražby, respektive stabilitu výrubu.

limits according to ČSN 73 0040 for the “0” degree of damage, i.e. with exclusion of the possibility of origination of a damage due to blasting operations for structures resistance class “B” (common brick buildings) respectively “A” (buildings in worse structural-technical condition). During the course of blasting, check measurements of acoustic effects of blasting were conducted three times, with the result of about 50dB for day time and about 60dB for night time. The warning states for the cases of acoustic effects are borrowed from the Decree No. 272/2011 Coll. of the Government of the Czech Republic, where limiting values of 83dB are set for day time and 40dB for night time. That is why night blasting events could not be carried out. Blasting was carried out only in the period from 6 am. to 10 pm.

Monthly monitoring of levels of water sources in the potential zone affected by tunnel excavation has been carried out since spring 2017 within the framework of hydrological monitoring of buildings in the vicinity. Long term drop of levels of water surfaces in many wells can be observed in 2017, 2018 and 2019. It did not stop until this year. Of course, seasonal fluctuations where decreasing of water sources occurred in summer months and increasing in winter months during individual years were also measured on the monitored objects. It can be stated that the level of water surfaces corresponded to the precipitation total in individual years (dry years 2017 to 2019, rainy year 2020) and also to seasonal precipitation and thermal fluctuations. Affecting of water resources in the surroundings by tunnelling has not been proved yet.

For documenting the actual shape of the exposed excavated opening, thus also the possible number of overbreaks (underbreaks), each excavation round was surveyed by a profiler. After completion of the tunnel excavation, the surface of the primary lining was scanned so that it was possible to determine places where the primary lining surface collided with the future external surface of the secondary lining and mill those places away.

Further on, continual engineering geological monitoring of the ground massif quality was part of the comprehensive geotechnical monitoring of the Deboreč tunnel. Each construction procedure was documented, with an output in the form of photodocumentation and a geotechnical passport with drawing of the excavation face, a text record of findings, assessment of the ground massif quality according to the RMR classification and comments or recommendations regarding technical measures and elements directly affecting the excavation conditions, respectively the excavation stability.

DEBOREČ TUNEL EXCAVATION IN DIFFICULT GEOTECHNICAL CONDITIONS OF FAULT ZONE

The construction work on the Deboreč tunnel started in July 2018 by stripping the soil profile at the exit portal; excavation at the entrance portal started in September 2018. The tunnel excavation itself commenced from the exit portal side in January 2019. In the section behind the portal, relatively unfavourable geotechnical conditions were encountered by the tunnel excavation. They were characterised by heavily weathered paragneiss with strength class mostly R5, with locations of R6 with extremely close joint spacing. From the mined portal (TM 49) to chainage TM 108, the excavation proceeded through massively supported ESC 5b1, under the protection of canopy tube pre-support. Along with gradual sumping of the excavation face into the rock massif, even geotechnical conditions improved. The excavation gradually passed through individual excavation support classes up to the most subtly supported ESC 2. A relatively long section (159.6m, TM 193 to TM 353.2) was excavated through compact ESC 2 paragneiss, quartziferous paragneiss to quartzite strength class R3 to R2.

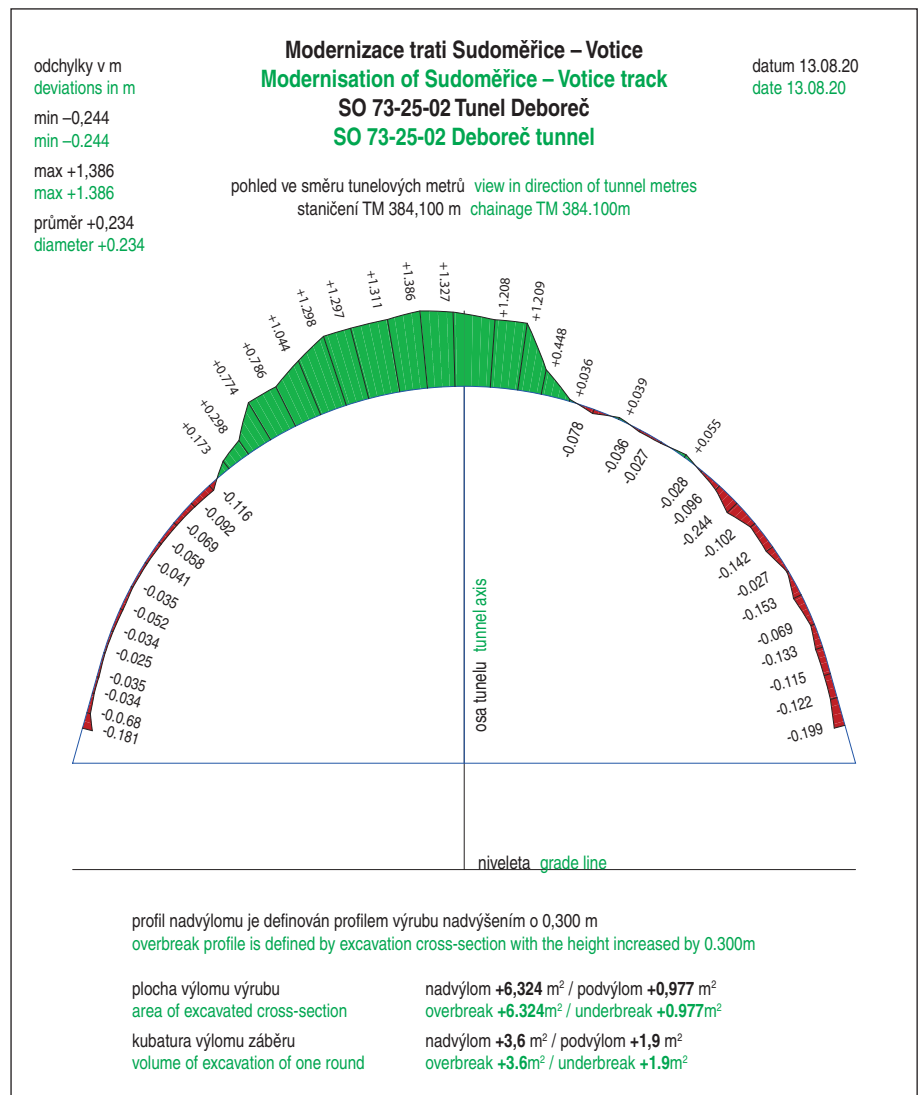
RAŽBY TUNELU DEBOŘEČ V OBTÍŽNÝCH GEOTECHNICKÝCH POMĚRECH ZLOMOVÉ ZÓNY

Stavební práce na tunelu Deboreč započaly v červenci 2018 skrývkou půdního profilu na výjezdovém portálu, hloubení na vjezdovém portálu započalo v listopadu 2018. Samotné ražby se rozběhly v lednu 2019 ze strany výjezdového portálu. V připortálovém úseku byly ražbami zastiženy relativně nepříznivé geotechnické poměry charakterizované silně zvětralými paraulami pevnostní třídy převážně R5 s polohami R6 s extrémně velkou hustotou diskontinuit. Od raženého portálu (TM 49) až do staničení TM 108 bylo tedy postupováno v masivně vystrojené TTV 5b1 pod ochranou mikropilotového deštníku. S postupným zahlabováním čelby do horninového masivu se zlepšovaly i geotechnické poměry. Ražby postupně přešly přes jednotlivé vystrojovací třídy až do nejsubtilnější vystrojené TTV 2. V TTV 2 byl ražen poměrně dlouhý úsek 159,6 m (TM 193,6 až do TM 353,2) v kompaktních paraulách, kvarcitic- kých paraulách až kvarcitech pevnostní třídy R3 až R2.

Od TM 340 se kvalita horninového masivu začala zhoršovat. Zastiženy byly postupně rozpukané horniny převážně pevnosti R4, které měly od TM 350 v přístropí zhoršenou stabilitu (vypadávání bloků horniny v řádu prvních metrů kubických). Proto došlo v TM 353,2 k přetřídění z TTV 2 do TTV 3. S následnou ražbou kaloty docházelo k dalšímu zhoršování inženýrskogeologických poměrů (v přístropí zastiženy zvětralé silně rozpukané parauly pevnostní třídy R5) a ražba postupně přešla do TTV 4 (TM 374,0) a TTV 5a (TM 384,8). Od staničení TM 370 začalo docházet k výraznějším nadvýlomům v řádu několika metrů kubických a od TM 376,4 už bylo možno postupovat jen pod ochranou předháněných jehel (příklad zaměření jednoho významného nadvýlomu z TM 384,1 je na obr. 2).

Ražby v kalotě byly dočasně pozastaveny 13. 8. 2019 v TM 384,8. Důvodem přerušení bylo zkrácení odstupů čelby opěří od čelby kaloty na projektovanou vzdálenost 20 m pro TTV 5a. Čelba opěří byla totiž k datu 13. 8. 2019 pozadu o 177 m z důvodu dlouhé předchozí ražby v TTV 2, kde byl max. povolený odstup čelby kaloty a opěří 200 m.

Ražby kaloty byly znovuobnoveny 5. 9. 2019. Následující den 6. 9. 2019 došlo v přístropí v TM 388,2 k nadvýlomu, který byl již v řádech desítek metrů kubických. Objem vypadnuté horniny byl odhadnut cca na 20 m³, geodetické zaměření nebylo z důvodu bezpečnosti provedeno. K tomuto nadvýlomu došlo i přes instalované jehly v přístropí, kdy

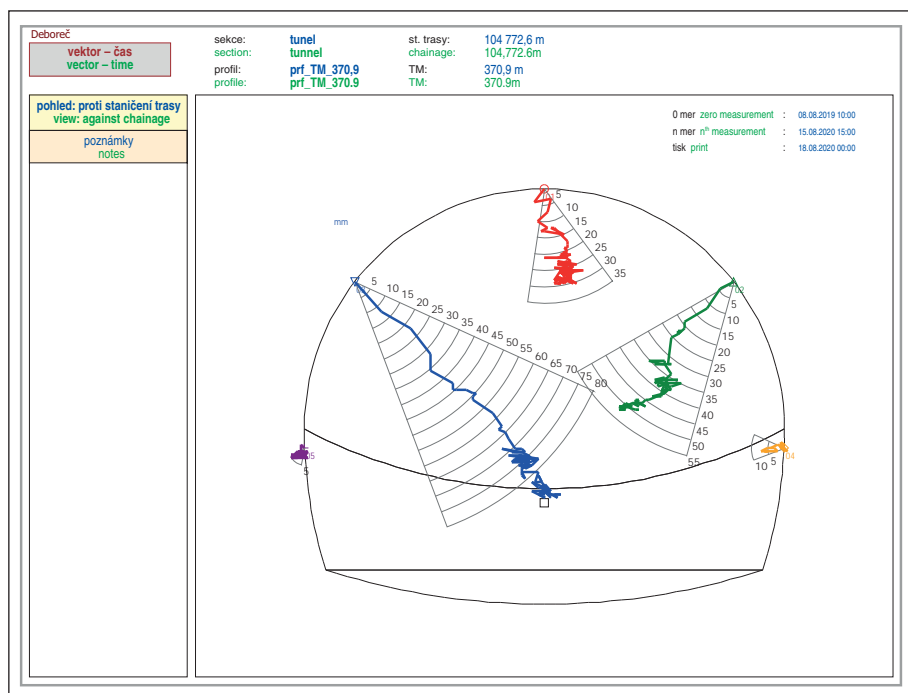


Obr. 2 Zaměření nadvýlomu v TM 384,1
Fig. 2 Survey of overbreak at TM 384.1

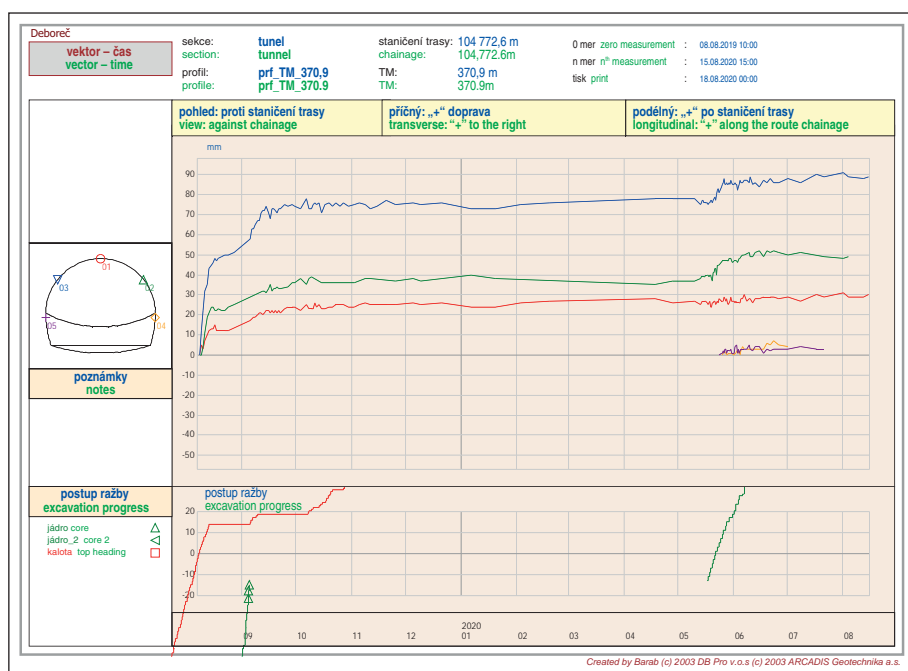


Obr. 3 Pohled na nadvýlom v TM 388,2
Fig. 3 View of overbreak at TM 388.2

foto Videňský, září 2019 photo Videňský, September 2019



Obr. 4 Směr deformací konvergenčního profilu v TM 370,9
Fig. 4 Direction of deformations of convergence profile at TM 370.9



Obr. 5 Vývoj hodnot vektoru deformací konvergenčního profilu v TM 370,9
Fig. 5 Development of values of deformation vector of convergence profile at TM 370.9

se hornina z přístropí vysypala v podobě nesoudržného materiálu (obr. 3).

Nestabilita obnažených částí horninového masivu byla doprovázena nepříznivým vývojem deformací primárního ostění na profilech instalovaných bezprostředně za čelbou. Po znovuobnovení ražeb kaloty 5. 9. 2019 se radiální deformace na měřených konvergenčních profilech instalovaných v TM 357,3, TM 370,9 a TM 382,9 začaly zvětšovat o několik milimetrů denně ve svislém i příčném směru. Nárůst deformací byl patrný především v levých bodech kaloty ve směru ražby. Na uvedených třech profilech byl překročen první varovný stav radiální deformace a na profilu

From TM 340, quality of the rock massif started to deteriorate. Fractured rock strength class R4, having worsened stability in the top heading from TM 350 (falling of rock blocks within the order of initial cube metres), started gradually to be encountered. For that reason the rock was reclassified at chainage TM 353.2 from ESC 2 to ESC 3. Along with the following excavation of the top heading, the engineering geological conditions further deteriorated (weathered, heavily fractured paragneiss strength class R5 was encountered in top heading) and the excavation gradually passed to ESC 4 (TM 374.0) and ESC 5a (TM 384.8). From chainage TM 370, more significant overbreaks within the order of several cube metres started to appear and, from TM 376.4, it was possible to proceed only under the protection of forepoles (an example of one significant overbreak from TM 384.1 is presented in Fig. 2).

The top heading excavation was temporarily suspended at TM 384.8 on 13 August 2019. The reason for the suspension was shortening of the distance between the excavation face of the bench and the face of the top heading to the distance of 20m designed for ESC 5a. As of 13 August 2019, the face of the bench lagged 177m behind due to the long previous excavation in ESC 2, where the maximum permissible distance between the top heading and bench faces amounted to 200m.

Top heading excavation was resumed on 5 September 2019. The following day, 6 September 2019, an overbreak, already in the order of tens cube metres, happened at the crown, TM 388.2. The volume of the fallen rock was guessed to amount to ca 20m³; survey measurement was not conducted for safety reasons. The overbreak occurred even despite spiles installed in the crown, where rock spilled from the crown in the form of incoherent material (see Fig. 3).

The instability of the exposed parts of the rock mass was accompanied by unfavourable development of deformations of the primary lining on profiles installed immediately behind the excavation face. After the resumption of excavation of the top heading on 5 September 2019, the radial deformations on the measured convergence profiles installed at

TM 357.3, TM 370.9 and TM 382.9 started to increase by several millimetres per day both vertically and transversally. The increase in deformations was apparent first of all in the left-hand points of the top heading (viewed in the direction of excavation). The first warning state was exceeded on the above-mentioned three profiles, whilst even the second warning state was exceeded on the profile at TM 370.9. The largest deformations were measured on the profile at TM 370.9. As of 9 September 2019, they amounted to ca 70mm in the radial direction on the left side of the top heading, whilst the first warning state for this profile installed in ESC 3 was set at 40mm and the second warning state at 50mm. The direction of deformations of

v TM 370,9 byl překročen dokonce i druhý varovný stav. Největší deformace byly naměřeny na profilu v TM 370,9 a k 9. 9. 2019 činily cca 70 mm v radiálním směru na levé straně kaloty, přičemž první varovný stav byl pro tento profil situovaný v TTV 3 stanoven na hodnotu 40 mm a druhý varovný stav na hodnotu 50 mm. Směr deformací konvergenčního profilu TM 370,9 v příčném řezu je znázorněn na obr. 4, vývoj hodnot vektoru tohoto profilu v závislosti na čase a postupu čeleb je pak patrný z obr. 5.

Výše popsany nepříznivý sled událostí vedl k pozastavení ražby kaloty k 9. 9. 2019 v TM 389,7. Bezprostředně po pozastavení ražeb byla zakonzervována čelba stříkaným betonem vyztuženým sítěmi, čelbovými injektovanými kotvami durglass a před čelbou byl ponechán opěrný horninový klín. V kalotě bylo v úseku mezi koncem opěrného klínu (cca TM 385) a čelbou opěří (TM 357) uzavřeno dno provizorní protiklenbou ze stříkaného betonu vyztuženého sítí. Po uzavření počvy kaloty (10. 9. 2019) se deformace začaly výrazně ustalovat a k jejich odeznění došlo zhruba na konci září 2019.

Na základě těchto událostí byl do čelby kaloty v ose tunelu realizován průzkumný jádrový předvrt ve výšce cca 1,5 m nad počvou kaloty, který ukázal, že cca do staničení TM 415 m bude raženo ve špatných geologických podmínkách (podrcené pararuly, místy bez výnosu jádra). Od TM 415 se kvalita vrtného jádra výrazně zlepšila, byly zastíženy kvalitní pararuly pevnosti R3. K znovuzahájení ražeb kaloty z TM 389,7 došlo 8. 10. 2019 v TTV 5b. Přístropí tunelu bylo zajištěno pomocí vrtných subhorizontálních mikropilotů a počva kaloty byla budována s provizorně uzavřenou protiklenbou. Ražba kaloty pod ochranou mikropilotového deštníku měla na vývoj deformací již minimální vliv (obr. 5). V TTV 5b byla kalota ražena až do staničení TM 425,0. Kvalita horninového masivu se začala opětovně zlepšovat a ražba kaloty přešla přes TTV 4 do TTV 3. V této třídě bylo raženo až do TM 548,3, kde bylo z důvodu zhoršování geotechnických poměrů v oblasti před provizorním raženým vjezdovým portálem zajištění výrubu přetříděno do TTV 4.

Po proražení kaloty se úsilí účastníků výstavby zaměřilo na ražbu opěří a dna v oblasti výše popsané geologické poruchy. Úsek zlomové zóny, který nebyl ražen pod ochranou mikropilotového deštníku a kde byly zaznamenány zvýšené deformace (TM 348,0 až TM 390,5), byl posílen dodatečnými systematickými radiálními svorníky z prvků IBO dl. 12 m, Ø 51 mm. V tomto úseku byly pro sledování deformací doplněny mezilehlé konvergenční profily tak, že vzdálenost mezi nimi činila cca 7,5 m. Následně tímto úsekem prošla čelba celého opěří a se zpožděním dvou záběrů i ražba dna. Při ražbě opěří a dna byly měřeny deformace na instalovaných konvergenčních bodech v oblasti poruchové zóny v četnosti 2x denně, vždy ráno a večer (v 7:00 h a v 19:00 h). V důsledku ražby opěří a dna došlo k nárůstu deformací na konvergenčních bodech v oblasti tektonické poruchy cca o dalších 15 mm (obr. 5). Největší hodnota radiální deformace byla naměřena na profilu v TM 370,9. Vektor posunu zde od počátku měření činil cca 90 mm.

Po ukončení ražeb byl plošně naskenován povrch primárního ostění v úseku tektonické zóny, kde bylo z důvodu zvýšených deformací aplikováno dodatečné zesílení radiálními svorníky IBO Ø 51 mm (TM 348,0 až TM 390,5). Z výsledků skenu bylo zjištěno, že část hlav svorníků čnějících do profilu tunelu zasahuje do rubu sekundárního ostění. V případě, že do rubu zasahovala jen horní část svorníku nad maticí, byla tato část odřezána. V případě, že do rubu zasahovala i matice, bylo nutno matici demontovat a podkladní deska byla ke svorníku přivařena. Část svorníku nad deskou byla pak odstraněna. Pokud do profilu zasahovala i podkladní deska a příp. i primární ostění, byla podkladní deska zapuštěna hlouběji do primárního ostění tak, aby nebyla v kolizi s rubem

the convergence measurement profile at TM 370.9 is presented on the cross-section in Fig. 4, the development of values of this profile vector with time and depending on the advance of excavation faces is apparent in Fig. 5.

The above-mentioned unfavourable sequence of events led to the suspension of the top heading excavation as of 9 September 2019, at TM 389.7. Immediately after stopping the excavation, the face was stabilised with shotcrete reinforced with welded mesh, durglass grouted face-supporting anchors and a supporting rock wedge was left before the excavation face. In the top heading section between the end of the supporting wedge (ca TM 385) and the bench excavation face (TM 357), the bottom was closed by a temporary invert made from shotcrete reinforced with welded mesh. After closing of the top heading bottom (10 September 2019), deformations started to significantly stabilise and faded away around the end of September 2019.

On the basis of these events, a survey cored borehole was carried out ahead of the excavation face at the level of ca 1.5m above the top heading bottom. It showed that up to chainage ca TM 415, the excavation would proceed in poor geological conditions (crushed paragneiss, locally without core recovery). From TM 415, the borehole core quality significantly improved, good quality paragneiss with R3 strength was encountered. The excavation from TM 389.7 was restarted on 8 October 2019 in ESC 5b. The tunnel crown was supported by means of bored sub-horizontal micropiles and the top heading bottom was constructed with a temporarily closed invert. The top heading excavation under the protection of the canopy tube pre-support affected the development of deformations only minimally (see Fig. 5). In ESC 5b, the top heading was excavated up to the chainage of 425.0. The rock mass quality started again to improve and the top heading excavation passed through ESC 4 to ESC 3. The excavation proceeded in this class up to TM 548.3, where the excavation support was reclassified to ESC 4 due to worsening of geotechnical conditions in the area before the temporary mined entrance portal.

After the top heading breakthrough, the efforts of the construction participants focused on the excavation of bench and bottom in the area of the above-mentioned geological fault. The section passing through the fault zone where the protection by canopy tube pre-support was not applied and where increased deformations were registered (TM 348.0 to TM 390.5), was reinforced with additional systematic radial rockbolts from 12m long, 51mm in diameter IBO elements. In this section, intermediate convergence profiles with the spacing of ca 7.5m were supplemented. The excavation face of the entire bench and bottom passed subsequently along this section and, with a delay of two excavation rounds, it was followed by the excavation of the bottom. During the excavation of the bench and bottom, deformations were measured on the convergence points installed in the area of the fault zone in the frequency of twice a day, always in the morning and in the evening (at 7 am. and 7 pm.). As a result of the excavation of the bench and bottom, deformations increased on convergence points in the area of the tectonic fault by other ca 15mm (see Fig. 5). The largest value of radial deformation was measured on the profile at TM 370.9. The displacement vector has amounted here to ca 90mm from the beginning of measurements.

After completion of the excavation, the surface of the primary lining was scanned in the tectonic fault section where additional strengthening with IBO Ø 51mm radial rockbolts were applied due to increased deformations (TM 348.0 to TM 390.5). It was found from the results of the scan that part of rockbolt heads that part of the heads of rockbolts protruding to the tunnel profile interfere with the external surface of the secondary lining. In the case that only the

sekundárního ostění. Část svorníku nad kotevní deskou byla pak odstraněna. Místa, kde do profilu sekundárního ostění zasahoval líc primárního ostění, byla vyfrézována. Celý úsek se zvýšenými deformacemi v TM 348,0 až TM 390,5 byl následně reprofilován novou vrstvou ze stříkaného betonu, čímž byly zakryty ostré hrany dodatečně instalovaných svorníků.

Popis inženýrskogeologických poměrů této tektonické poruchy je uveden v následující kapitole.

ZHODNOCENÍ INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝCH POMĚRŮ V PROSTORU ZLOMOVÉ ZÓNY

Charakterizace inženýrskogeologických poměrů a stručné zhodnocení tektonických poměrů a přítomnosti podzemní vody bylo provedeno na základě kontinuální inženýrskogeologické dokumentace čeleb jako součásti komplexního geotechnického monitoringu tunelu Deboreč.

Poloha zlomové zóny, její významné tektonické struktury, zastoupení jednotlivých geotechnických typů, výrony podzemní vody a další významné geotechnické informace jsou graficky znázorněny v podélném inženýrskogeologickém řezu a mapě v obr. 6.

V TM 337–420 byly ražbou zastiženy svrchnoproterozoické metamorfované horniny moldanubika, konkrétně geotechnické typy foliovaných, silimanit-biotitických pararul silně tektonicky porušených, charakteru rul silně (geotechnický typ H2) a mírně (geotechnický typ H3) zvětralých a těž rul navětralých až zdravých (geotechnický typ H4), které se vyskytovaly převážně mimo samotnou zlomovou zónu. Lokálně, objemově v minimálním množství, jsou zastoupeny žíly granitoidů proměnlivého stupně zvětrání, obvykle kosé ke směru foliace.

upper part of the rockbolt above the nut interfered with the external surface, this part was cut off. In the case that the nut also interfered with the external surface, it was necessary to remove the nut and the face plate was welded to the rockbolt. The part of the rockbolt above the plate was subsequently removed. If even the face plate interfered with the profile, the face plate was embedded deeper into the primary lining so that it did not collide with the external surface of the secondary lining. The part of the rockbolt above the face plate was subsequently removed. The places where the inner surface of the primary lining interfered with the primary lining profile were milled out. The whole section with increased deformations at TM 348.0 to TM 390.5 was subsequently reprofiled by a new shotcrete layer, thus sharp edges of the additionally installed rockbolts were covered.

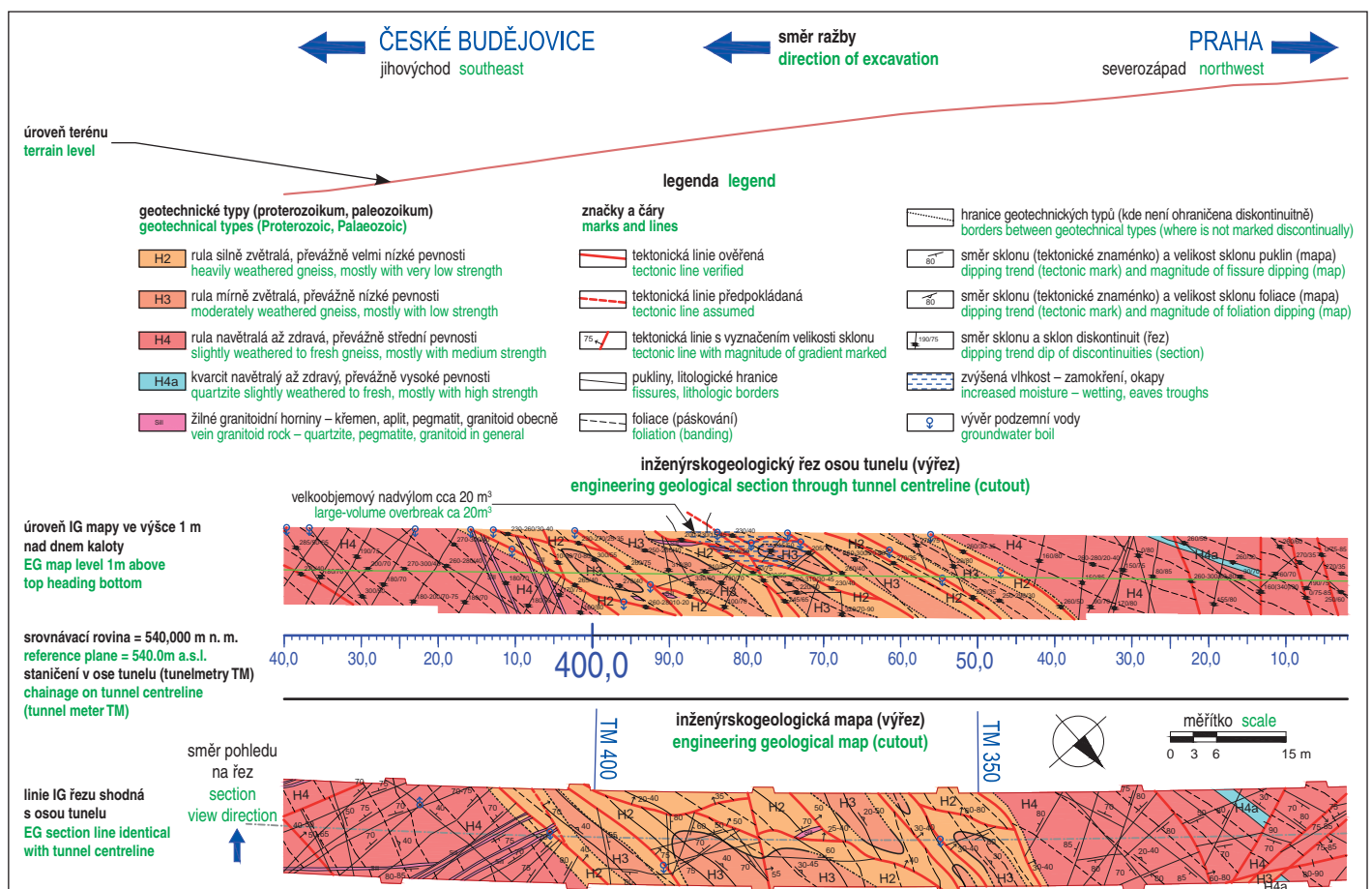
The description of the engineering geological conditions in this tectonic fault is contained in the following chapter.

EVALUATION OF ENGINEERING GEOLOGICAL CONDITIONS IN THE SPACE OF THE FAULT ZONE

The characterization of engineering geological conditions and a brief evaluation of tectonic conditions and the presence of groundwater was carried out on the basis of continuous engineering geological documentation of excavation faces as a part of the comprehensive geotechnical monitoring of the Deboreč tunnel.

The location of the fault zone, its significant tectonic structures, representation of individual geotechnical types, groundwater blowouts and other important geotechnical information are presented graphically in a longitudinal engineering geological section and in the map in Fig. 6.

At TM 337–420, upper Proterozoic metamorphosed rock of the Moldanubic Formation, concretely geotechnical types of foliated,



zdroj Vídeňský, 2020 source Vídeňský, 2020

Obr. 6 Výřez ze schematizovaného inženýrskogeologického řezu a mapy tunelu Deboreč zachycující zlomovou zónu a její bezprostřední okolí
Fig. 6 Cutout from a schematised engineering geological section and map of Deboreč tunnel showing a fault zone and its immediate surroundings

Jednotlivé geotechnické typy jsou vyčleněné a detailně popsány v podrobném geotechnickém průřezu [8] a stručně též v časopisu Tunel 3/2019 [1]. Proto zde bude jejich charakterizace maximálně zestručněna.

Pararuly silně tektonicky porušené charakteru rul silně zvětralých (H2) mají převážně velmi nízkou pevnost R5 (vyskytují se však i polohy s extrémně nízkou pevností R6). Jsou tmavě hnědošedé až tmavě šedé, páskované, zvrásněné, silně tektonicky porušené (podrcené), s velmi malou až extrémně malou vzdáleností diskontinuit, což způsobuje rozpad horniny na ploché úlomky velikosti v řádu centimetrů. Polohy s extrémně nízkou pevností se rozpadají až na jílovitopísčité zeminy. Na často až vyhlazených (tzv. tektonických zrcadlech) plochách diskontinuit jsou velmi hojné povlaky grafitu, jílu či oxidů a hydroxidů železa a manganu. Od TM 390 se grafitická příměs místy vyskytuje též v podobě čočkovitých či deskovitých poloh. Geotechnický typ tvoří řádově desítky procent výrubu kaloty v místech nejvýraznějších tektonických deformací, především mezi TM 350–410.

Pararuly tektonicky porušené charakteru rul mírně zvětralých (H3) mají převážně nízkou pevnost R4. Jsou hnědošedé až tmavě šedé, výrazně páskované, tektonicky porušené – zvrásněné a lokálně též podrcené, s velmi malou až malou vzdáleností diskontinuit v minimálně třech systémech, které způsobují rozpad horniny na kosoúhlé až ploché úlomky velikosti v řádu 4–20 cm. Geotechnický typ se vyskytuje především v relativně méně, stále však zřetelně tektonicky porušených oblastech mezi zlomovými strukturami.

Pararuly navětralé až zdravé (H4) mají střední pevnost R3. Jsou šedé až tmavě šedé, výrazně páskované, s malou až střední vzdáleností diskontinuit v minimálně třech systémech, které způsobují rozpad horniny na kosoúhlé až ploché úlomky velikosti v řádu 10–60 cm. Vyskytují se především v oblasti nástupu a vyznění zlomové zóny mezi TM 337–355 a 405–420.

Litologicky lze geologickou poruchu charakterizovat jako zónu silného tektonického porušení přítomných pararul. Přítomny jsou kromě zlomů níže zmíněného hlavního směru též četné konjugované zlomy a další křehké i duktilní struktury, které se společně projevují jílovitými výplněmi, vyhlazenými plochami s grafitickým povlakem, silným zvrásněním, rozpukáním až podrcením horniny, rychlým rozvolňováním a zároveň sníženou pevností masivu z původní pevnostní třídy R3 až k pevnostní třídě R5, místy až R6. Je zcela zřejmé, že horninový masív je v oblasti zlomové zóny extrémně nehomogenní, především v geotechnických charakteristikách typu pevnosti v prostém tlaku, vzdálenosti diskontinuit, úhlu vnitřního tření či soudržnosti. Kolem TM 350 se zlomová zóna postupně rozšířila i do přístropí kaloty a stala se tak rozhodujícím faktorem pro celkové geomechanické chování masivu v profilu kaloty se všemi geotechnickými následky podrobně popsány v předchozí kapitole. Příklady vzhledu obnažených liců výrubů kalot uvnitř zlomové zóny jsou zachyceny na obr. 7 až 10.

Tektonické poměry

Diskutovaná zlomová zóna se v profilu tunelu vyskytuje mezi TM 337–420. Generelní orientace hlavních zlomů 250–270°/30–50° znamená s ohledem na směr

silimanite-biotitic paragneiss heavily tectonically faulted, with the character of gneiss heavily (geotechnical type H3) and moderately (geotechnical type H3) weathered, mostly outside the fault zone itself, and also slightly weathered up to fresh gneiss (geotechnical type H4) were encountered. Locally, in terms of volume in minimal amount, granitoid veins of a variable degree of weathering, usually oblique to the direction foliation, are also represented.

Individual geotechnical types are separated and described in detail in the detailed geotechnical investigation [8] and briefly also in TUNEL journal 3/2019 [1]. For that reason, their characterisation will be maximally abridged in this paper.

Paragneiss heavily tectonically faulted with the character of heavily weathered gneiss (H2) has mostly very low strength R5 (however, even layers with extremely low strength R6 occur). It is dark brown-grey to dark grey, banded, folded, heavily tectonically faulted (crushed), with very small to extremely small spacing of discontinuities, which causes disintegration of the rock to into flat fragments with the sizes within the order of centimetres. The layers with extremely small strength disintegrate even to clayey-sandy earth. On frequently polished (the so-called tectonic slickensides) discontinuity planes there are very abundant graphite, clay or iron and manganese oxide and hydroxide coatings. From TM 390, graphitic admixture locally occurs also in the form of lenticular or tabular layers. The geotechnical type makes up the top heading excavation in the order of tens percent in the locations of most significant tectonic deformations, first of all between TM 350–410.

Paragneiss tectonically faulted with the character of moderately weathered gneiss (H3) have mostly low strength R4. It is brown-grey to dark grey, noticeably banded, tectonically faulted – folded and locally also crushed, with very small to small spacing of discontinuities in minimally three systems, causing disintegration of rock into oblique fragments with the size within the order of 4–20cm. The geotechnical type occurs mainly in relatively less, but distinctly tectonically faulted areas between fault structures.

Paragneiss slightly weathered to fresh (H4) have medium strength R3. It is grey to dark grey, noticeable banded, with small to medium spacing of discontinuities minimally in three systems, causing rock disintegration into oblique to flat fragments with the



Foto Štoviček, 2019 photo Štoviček, 2019

Obr. 7 Čelba v TM 344,5 – rozhraní nastupující zlomové zóny (vlevo) a zdravých pararul

Fig. 7 Excavation face at TM 344.5 – interface between onsetting fault zone (left) and fresh paragneiss



foto Šlaviček, 2019 photo Šlaviček, 2019

Obr. 8 Čelba v TM 357,8 – dílčí rozhraní na jednom ze zlomů hlavního směru uvnitř zlomové zóny
Fig. 8 Excavation face at TM 357.8 – partial interface on one of faults of the main trend inside a fault zone



foto Videňský, 2019 photo Videňský, 2019

Obr. 9 Čelba v TM 378,8 – centrální partie zlomového pásma, patrná je extrémní deformace, zvrásnění, tektonické ohlady či extrémně malá vzdálenost diskontinuit
Fig. 9 Excavation face at TM 378.8 – central area of a fault zone; extreme deformation, folding, tectonic slickensides or extremely small spacing of discontinuities are visible

ražby nástup z levých dolních částí jednotlivých figur (v kalotě cca od TM 341, v opěři cca od TM 338 a ve dně v TM 337) a vyznívání vpravo nahoře s posledním záchytem v kalotě okolo TM 420 na cca 2. hodině. Rozhraní mezi zdravými rulami geotechnického typu H4 a zlomovou zónou silně tektonicky porušených rul (geotechnické typy H2 a H3) lze označit za relativně ostré, dobře lokalizované, jak při nástupu, tak při vyznívání poruchy (obr. 7 a 10). Podle jednotlivých dokumentací čelb lze zlomovou zónu charakterizovat jako desku se zvlněnými, a případně těž roztrepenými okraji o pravé mocnosti okolo 27 m, přičemž její generalizovaný směr $265^{\circ}/40^{\circ}$ svírá se směrem ražby úhel $42-44^{\circ}$.

size within the order of 10–60cm. It occurs first of all in the area of the onset and fading away of the fault zone between TM 337–355 and 405–420.

In terms of lithology, the geological fault can be characterised as a zone of heavy tectonic faulting of the present paragneiss. Apart from the faults of the below-mentioned main trend, also numerous conjugated faults and other brittle and ductile structures are present. They manifest themselves by clayey fillings, polished surfaces with graphitic coating, intense undulation, fracturing to crushing of the rock, rapid loosening and, at the same time, reduced strength of the massif from the original strength class R3 to strength class R5, locally up to R6. It is fully obvious that the rock massif in the area of the fault zone is extremely inhomogeneous, first of all in geotechnical characteristics of the unconfined compressive strength, spacing of discontinuities, angle of internal friction or coherence types. Around TM 350, the fault zone gradually expanded even to the top heading crown, thus it became the deciding factor for overall geomechanical behaviour of the massif within the top heading profile, with all geotechnical consequences described in detail in the previous chapter. Examples of the appearance of the exposed surfaces of the top headings inside the fault zone are presented in Figures 7 to 10.

Tectonic conditions

The discussed fault zone occurs in the tunnel profile between TM 337–420. The general orientation of the main faults of $250-270^{\circ}/30-50^{\circ}$ means that, with respect to the direction of tunnel excavation, means that the onset is from the left-hand parts of individual figures (ca from TM 341 in the top heading, from ca TM 338 in the bench and from TM 337 in the bottom) and fading away in the top on the right side, with the last catch in the top heading around TM 420, at the 2 o'clock position. The interface between fresh gneiss geotechnical type H4 and the fault zone of heavily tectonically faulted gneiss (geotechnical type H2 and H3) can be considered to be relatively sharp, well localised, both at the onset and fading away of the fault (see Figures 7 to 10). According

to individual documentations of excavation faces, the fault zone can be characterised as a plate with undulated and possibly also frayed edges, with the true thickness around 27m, whilst its generalised trend of $265^{\circ}/40^{\circ}$ forming a $42-44^{\circ}$ angle with the direction of tunnel excavation. Detailed courses of the brittle structures in the area of the fault zone are depicted by stereographic projections in Fig. 11 (here projections of discontinuity planes in the lower hemisphere in "equal area" projection). The black projection leading through the centre represents in both diagrams the tunnel tube centre line in the area of the fault zone. The direction of excavation was from NW to SE.

The projection in Fig. 11 left shows measurements of foliation (20 measurements in total). The prevailing trend/dip of foliation

Detailní průběhy křehkých struktur v oblasti zlomové zóny znázorňují stereografické projekce na obr. 11 (zde průměty rovin diskontinuit se spodní hemisférou v „equal area“ projekci). Černý, středem vedoucí průmět v obou diagramech reprezentuje osu tunelové trouby v oblasti zlomové zóny. Směr ražeb byl od SZ k JV.

Projekce na obr. 11 vlevo zobrazuje měření foliace (celkem 20 měření). Z diagramu je patrný převažující směr sklonu/sklon foliace v intervalu $265\text{--}285^\circ/30\text{--}50^\circ$, který se velmi blíží nejobvyklejšímu směru foliace v celé délce tunelu pohybující se v intervalu $250\text{--}275^\circ/30\text{--}40^\circ$. Ostatní měření odchylující se od těchto hodnot i poněkud větší rozptýlení v rámci převažujících směrů je zapříčiněno vytažením a vrásněním foliace na dislokacích zlomového pásma. Kromě zmíněného hojného zvlnění jsou foliační plochy obecně hladké, sevřené. Foliace, jinde jeden z nejvýraznějších strukturních prvků, ztrácí ve zlomové zóně na významu, je méně výrazná, mnohdy potlačena na úkor doprovodných křehkých struktur hlavních zlomů, respektive celkového deformačního podrcení. Úklon foliace byl šikmo proti směru ražby (šikmo do vyrubaného prostoru s průměrnou odchylkou směru rovin foliace od směru osy tunelu cca 53°), a vzhledem ke sklonu tak měl nepříznivou orientaci ve smyslu klasifikace RMR. To bylo předvídáno již z dat získaných z měření na obou portálech a v prvních metrech ražeb viz [1].

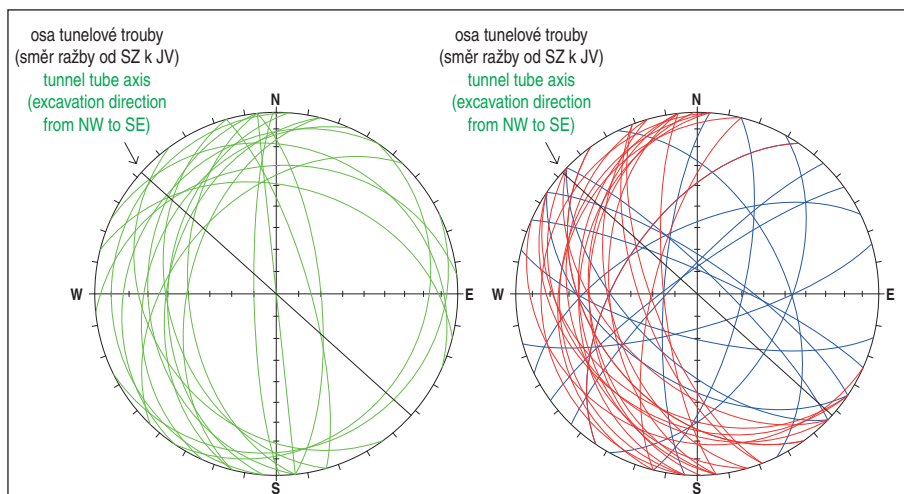
Stereografická projekce na obr. 11 vpravo prezentuje veškerá měření zlomů (červeně, celkem 22 měření) a vybraných puklin (modře, celkem 15 měření) v rámci dokumentace v prostoru zlomové zóny. Z diagramu je patrný převažující směr sklonu dokumentovaných zlomů pohybující se mezi $250\text{--}285^\circ$ s poměrně proměnlivými úklony v intervalu $25\text{--}70^\circ$. Středové hodnoty pak leží v intervalu $260\text{--}270^\circ/30\text{--}40^\circ$. Výrazně méně zastoupený směr sklonu/sklon měřených zlomů je $205\text{--}235^\circ/20\text{--}50^\circ$. Generalizovaný směr sklonu/sklon zlomové zóny byl s přihlédnutím k orientaci zlomů vymezujících zlomové pásmo zvolen ve výše zmíněné



Obr. 10 Čelba v TM 412,0 – vyznívání zlomové zóny (vpravo nahoře) na kontaktu s navětralými až zdravými pararulami

Fig. 10 Excavation face at TM 412.0 – fading away fault zone (right top) on contact with slightly weathered to fresh paragneiss

within the $265\text{--}285^\circ/30\text{--}50^\circ$ interval, which very much approximates the most usual trend of foliation throughout the tunnel length fluctuating within the $250\text{--}275^\circ/30\text{--}40^\circ$ interval is obvious from the diagram. The other measurements deviating from these values and the somewhat larger scatter within the framework of prevailing trends are caused by stretching-out and folding of the foliation on dislocations of the fault zone. Apart from the above-mentioned folding, the foliation surfaces are generally smooth, tight. Foliation, elsewhere one of most distinctive structural elements, loses its significance in the fault zone, is less conspicuous, often suppressed at the expense of accompanying brittle structures of main faults, respectively the total deformation crushing. The foliation dip was at an angle against the direction of excavation (obliquely into the excavated space with an average deviation of the trend of foliation planes from the direction of the tunnel centre line of ca 53°) and, with respect to the dip, its orientation was unfavourable in the meaning of the RMR classification. It was anticipated already from the data gathered from measurements at both portals and in the initial metres of the excavation, see [1].



Obr. 11 Stereografické projekce průmětů ploch diskontinuit se spodní polokoulí, foliace (vlevo), zlomy (červeně) společně s puklinovými plochami (modře, obě vpravo) v prostoru rozsahu zlomové zóny

Fig. 11 Stereographic reflections of projections of discontinuity planes in the lower hemisphere, foliation (left), faults (red) together with fissure planes (blue, both right) in the space of the extent of the fault zone

zdroj Videňský, 2020 source Videňský, 2020

hodnotě $265^\circ/40^\circ$. Jednotlivé zlomy jsou součástí téměř 27 m mocné zlomové zóny, jejíž litotektonická charakteristika je detailně popsána výše. Podobně jako u foliace lze orientaci zlomové zóny vzhledem ke směru ražby označit ve smyslu klasifikace RMR za nepříznivou.

Puklinové plochy (modré linie) o směrech sklonu/sklonech např. $305\text{--}335^\circ/55\text{--}80^\circ$, $25\text{--}45^\circ/75\text{--}80^\circ$, $215\text{--}225^\circ/50\text{--}60^\circ$ a mnoha dalších pak tvoří doprovodné struktury hlavních zlomových linií. Podobně jako u foliace je významnost, respektive přítomnost klasických puklinových systémů silně potlačena na úkor nepravidelného, často všesměrného rozpukání (tektonického podrcení).

Podzemní voda

Ve zlomové zóně byly nezajištěné výrubky během otvírek převážně vlhké, místy s lokálním zvlhčením čelby či boků. Mezi TM 350–370 až mokré, s lokalizovanými přítoky podzemní vody v řádu cca 0,1–0,3 l/s. Mezi TM 370 až TM 390 se při otvírce a bezprostředně po ní čelba jevila jako vlhká, následně v horizontu dnů byly patrné průsaky v primárním ostění, které v součtech činily řádově desetin l/s. Vzhledem k charakteru zlomové zóny (obecně málo propustná křehce duktilní zóna bez otevřených průběžných diskontinuit umožňujících volný pohyb podzemní vody) se autoři domnívají, že podzemní voda se nacházela především na rozhraní zlomové zóny a „neporušené“ horniny, a dále do zlomové zóny postupovala až ve chvíli, kdy vlivem ražeb došlo v okolí tunelové trouby k jejímu rozvolnění. Od cca TM 390 lze čelbu označit za pouze vlhkou, což je pravděpodobně způsobeno snížením vydatnosti lokálních zvodní v nadloží tunelu během měsíční, respektive dvouměsíční odstávky ražeb kaloty (rám č. 243 v TM 384,8 stavěn 13. 8. 2019, rám č. 248 v TM 389,7 stavěn 9. 9. 2019 a rám č. 249 v TM 390,5 stavěn dne 8. 10. 2019).

ZÁVĚR

Mezi TM 337–420 byla ražbou tunelu Deboreč zachycena neočekávaná výrazná tektonická porucha projevující se extrémní nehomogenitou a skokovým zhoršením kvality horninového masivu v podobě podrcení, zvrásnění, polohami s přítomností tektonických jíílů, grafitu apod., potažmo snížením hodnot geotechnických parametrů jako např. pevnosti v prostém tlaku, úhlu vnitřního tření či soudržnosti. Prává mocnost zlomové zóny je odhadována na cca 27 m, její generální prostorová orientace je vyjádřena směrem sklonu/sklonem $265^\circ/40^\circ$.

V důsledku zmíněného se zejména mezi TM 370–388 vyskytovaly v rámci jednotlivých postupů poněkud vyšší nadvýlomy (navzdory jehlování přístropí), s nejvyšší zaznamenanou hodnotou cca 20 m^3 v TM 388. I tento nadvýlom, jehož vývoj v danou chvíli již nebylo možno jakkoliv ovlivnit, se však samovolně stabilizoval dlouho před vyplněním prostoru tunelu charakteristickým pŕlkuželem rozvolněné horniny až k jeho přístropí.

Přítoky podzemní vody v prostoru zlomové zóny dosahovaly svých maxim v řádu desetin l/s mezi TM 350–370, se zpožděním v řádu dnů, a v podobě průsaků skrz primární ostění též v TM 370–390. Ani zde však celkové hodnoty přítoků nepřesahovaly řád prvních decilitrů za sekundu. Vzhledem ke své relativně nízké vydatnosti tak podzemní voda představovala méně významný faktor v celkové problematice ražeb v kritickém úseku.

Z geotechnického hlediska došlo v důsledku výskytu zlomové zóny na relativně krátkém úseku (36,5 m) k přechodu z nejsubtilněji vystrojené TTV 2 do nejmasivněji vystrojené TTV 5b. V tomto přechodovém intervalu byly u vystrojovacích tříd TTV 3 a TTV 4 překročeny varovné stavy na instalovaných konvergenčních profilech. To si vyžádalo dodatečná technologická opatření ke

$265^\circ/40^\circ$. Individual faults are parts of the 27m thick fault zone, the lithotectonic characteristic is described in detail above. Similarly to the foliation, the orientation of the fault zone with respect to the direction of excavation can be described as unfavourable in the meaning of the RMR classification.

Fissure planes (blue lines) with the trends of dips/dips e.g. $305\text{--}335^\circ/55\text{--}80^\circ$, $25\text{--}45^\circ/75\text{--}80^\circ$, $215\text{--}225^\circ/50\text{--}60^\circ$ and many others then form accompanying structures of the main fault lines. Similarly to the foliation, the significance respectively presence of classical fault systems is strongly suppressed at the expense of irregular, often omnidirectional jointing (tectonic faulting).

Groundwater

Unsupported underground excavations in the fault zone were at the time of openings and immediately after mostly damp, locally with moistening of the excavation face or sidewalls. Between TM 350–370 up to wet, with localised groundwater inflows in the order of ca 0.1–0.3L/s. Between TM 370 to TM 390, the face appeared damp at the time of opening; subsequently, in horizon of several days, leaks were visible in the primary lining, which, if aggregated, were of the order of tenths of L/s. Taking into consideration the character of the fault zone (generally little permeable, brittle ductile zone without open persistent discontinuities allowing free movement of groundwater) the authors believe that groundwater is present first of all at the interface between the fault zone and “non-faulted” ground and proceeds further to the fault zone only at the moment when it is loosened in the tunnel tube surroundings due to the excavation. From ca TM 390, the excavation face can be described only as damp, which fact is probably caused by decreasing the yield of local aquifers in the tunnel overburden during the one-month or two-month suspension of excavation of the top heading (frame No. 243 at TM 384.8, installed on 13 August 2019, frame No. 248 at TM 389.7, installed on 9 September 2019 and frame No. 249 at TM 390.5, installed on 8 October 2019).

CONCLUSION

An unexpected tectonic fault discovered by the Deboreč tunnel excavation was registered between TM 337–420. It manifested itself by extreme inhomogeneity and step worsening of ground mass quality in the form of crushing, folding, layers with presence of tectonic clay, graphite etc. or lowering of values of geotechnical parameters, for example unconfined compression strength, angle of internal friction or coherence. The true thickness of the fault zone is estimated at ca 27m; its general spatial orientation is expressed by trend of dip and dip of $265^\circ/40^\circ$.

As a result of the above mentioned fact, somewhat higher overbreaks (despite spiling into the crown) with the highest recorded volume of ca 20 m^3 at TM 388, occurred mainly between TM 370–388 within the framework of individual excavation rounds. Even this overbreak, the development of which at that time could no longer be influenced in any way, stabilised spontaneously long before the tunnel space was filled with a characteristic semi-cone of loosened ground up to the tunnel crown.

Groundwater inflow rates in the area of the fault zone reached their maximums in the order of tenths of L/s between TM 350–390, with the delay in the order of days, and in the form of seepage through the primary lining also at TM 370–390. However, even here the aggregated values of inflows did not exceed the order of the initial decilitres per second. With respect to the relatively low yield, groundwater represented a less significant factor in the overall problems of tunnel excavation in the critical section.

From the geotechnical point of view, transition from the most subtly supported ESC 2 to the most massively supported ESC

stabilizaci stávajícího ostění kaloty (provizorní protiklenba v kalotě, dodatečné radiální svorníky) a také dodatečná opatření monitoringu (nové vložené konvergenční profily, zvýšená četnost měření). Z časového vývoje hodnot deformací primárního ostění vyplývá, že na ustalování deformací mělo pozitivní vliv zejména co nejrychlejší uzavírání profilu tunelu protiklenbou, ať už dočasnou v rámci kaloty, či finálního dna.

Odhadované celkové zpoždění výstavby způsobené zastížením neočekávané zlomové zóny mezi TM 337–420 se pohybuje okolo dvou měsíců.

Ražby tunelu Deboreč nakonec díky všem výše zmíněným opatřením problematickým úsekem zdárně prošly a v současnosti je budováno sekundární ostění tunelu.

Poučení z ražby tunelu Deboreč

- 1) I v litologicky relativně homogenním prostředí regionálně metamorfovaných hornin se mohou vyskytovat a vyskytují široká zlomová pásma, která navíc nemají v podstatě žádný efekt na geomorfologii terénu (popisované zlomové pásmo má teoretický průmět s povrchem na východním svahu pravidelně tvarované elevace vrchu Deboreč).
- 2) V případě zastížení takovéto struktury profilem tunelu může být nutno skokově korigovat zajištění výrubu v rozsahu i několika vstrojovacích tříd. Zde, stejně jako při hledání specifických technologických řešení komplikovaných geologických podmínek ražby, je nutná intenzivní komunikace všech účastníků výstavby založená na vzájemném respektu a společné snaze nalézt technologicky dostatečná a zároveň hospodárná východiska.
- 3) Kvalitně provedený a správně interpretovaný geotechnický průzkum společně s dalšími faktory (kvalitou projektové přípravy, kvalitou práce zhotovitele, způsobem organizace výstavby, geotechnickým monitoringem prováděným zkušenými geotechniky) jsou jedinou možností, jak předvídat nepříznivé geologické poměry, respektive v nich technologicky efektivně, bezpečně a hospodárně realizovat ražbu tunelů metodou NRTM.

Ing. MILAN KÖSSLER, milan.kossler@geotechnika.cz,

Mgr. ALEŠ VÍDEŇSKÝ, ales.vidensky@geotechnika.cz,

SG Geotechnika a.s.

Recenzoval Reviewed: Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D.

5b took place as a result of the occurrence of the fault zone in a relatively short section (36.5m). In this transition interval, warning states were exceeded at excavation support classes ESC 3 and ESC 4 on the installed convergence profiles. It required additional technical measures for stabilisation of the existing top heading lining (temporary invert in the top heading, additional radial rockbolts) and also additional monitoring measures (newly inserted convergence profiles, increased frequency of measurements). It follows from the development of deformations of the primary lining with time that stabilisation of deformations was positively affected mainly by as quick as possible closing of the profile by invert, whether temporary within the framework of the top heading or permanent within the framework of the final bottom.

The estimated total construction delay caused by encountering the unexpected fault zone between TM 337–420 is around two months.

The Deboreč tunnel excavation finally successfully passed through the problematic section owing to all above-mentioned measures and the secondary lining of the tunnel is currently under construction.

Lessons from the excavation of the Deboreč tunnel

- 1) Even in a lithologically relatively homogeneous environment of regionally metamorphosed rock, wide fault zones having in addition no substantial effect on terrain geomorphology (the described fault zone has a theoretical projection with the eastern slope of the shaped elevation of Deboreč hill) can occur and occur.
- 2) In the case that such a structure is encountered by the tunnel cross-section, it may be necessary to abruptly correct the excavation support within the extent of several support classes. Here, identically with searching for specific technical solutions for complicated geological conditions of excavation, intense communication among all construction participants based on mutual respect and joint effort to find technically sufficient and at the same time economical possibilities is necessary.
- 3) Correctly interpreted, good quality geotechnical survey, together with other factors (quality (quality of project planning, quality of the contractor's work, the system of construction organisation, geotechnical monitoring conducted by experienced geotechnicians) allows for technically effective and economical tunnel excavation using the New Austrian Tunnelling Method in unfavourable geological conditions.

Ing. MILAN KÖSSLER, milan.kossler@geotechnika.cz,

Mgr. ALEŠ VÍDEŇSKÝ, ales.vidensky@geotechnika.cz,

SG Geotechnika a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] KÖSSLER, M., VÍDEŇSKÝ, A. *Tunel Deboreč*. Geotechnický monitoring v průběhu hloubení jam a ražby tunelu Deboreč na 4. železničním koridoru. *Tunel*, 2019, roč. 28, č. 3, str. 9–22
- [2] KÖSSLER, M., VÍDEŇSKÝ, A. *Tunel Deboreč*. Doplňující IG průzkum formou vyhodnocení geologické poruchy zastížené v průběhu ražeb v TM 338 až TM 420. SG Geotechnika, a.s., prosinec 2019
- [3] URBÁNEK, T. *Modernizace trati Sudoměřice Votice S0 73-25 Tunel Deboreč, obecná část*. MPI projekt s.r.o., září 2018
- [4] PRŮCHA, T., URBÁNEK, T. *Modernizace trati Sudoměřice Votice S0 73-25-01 Tunel Deboreč, hloubená část, vjezdový portál*. MPI projekt s.r.o., září 2018
- [5] URBÁNEK, T. *Modernizace trati Sudoměřice Votice S0 73-25-02 Tunel Deboreč, ražená část*. MPI projekt s.r.o., říjen 2018
- [6] URBÁNEK, T. *Modernizace trati Sudoměřice Votice S0 73-25-02 Tunel Deboreč, ražená část – Zesílení primárního ostění TM 336,0-390,5*. MPI projekt s.r.o., leden 2020
- [7] PRŮCHA, T., URBÁNEK, T. *Modernizace trati Sudoměřice Votice S0 73-25-03 Tunel Deboreč, hloubená část, výjezdový portál*. MPI projekt s.r.o., srpen 2018
- [8] SMOLAŘ, Z. *Modernizace trati Sudoměřice Votice, geotechnický a hydrogeologický průzkum, tunel Deboreč*. GeoTec – GS, a.s., leden 2013
- [9] KRAMEŠ, M., GRAMBLIČKOVÁ, I. *Modernizace trati Sudoměřice Votice, celková situace stavby*. Sudop Praha, a.s., leden 2013

METRO I.D – SOUČASNÝ STAV GEOLOGICKÝCH PRŮZKUMNÝCH PRACÍ NA ÚSECÍCH VO-OL A OL1

METRO ID – CURRENT CONDITION OF GEOLOGICAL SURVEY FOR VO-OL AND OL1 SECTIONS

JIŘÍ TLAMSA, RADEK ONYSKO, JAN ZEMÁNEK

ABSTRAKT

Úsek nově plánované trasy pražského metra I.D v okolí stanic Pankrác a Olbrachtova představuje nejproblematictější část projektované trasy metra D – vzhledem k velmi náročnému řešení stavby, předpokládaným geotechnickým podmínkám ražby a rizikům spojeným s negativním ovlivněním okolní zástavby i stávajících objektů trasy metra C. Pro možnost získání komplexních geotechnických informací o horninovém prostředí a vlivu podzemní výstavby na okolní objekty je v současné době v tomto úseku metra realizován rozsáhlý doplňkový inženýrskogeologický průzkum. Výsledky komplexu průzkumných prací, které jsou realizovány formou průzkumných štol, průzkumných vrtů z povrchu i podzemí, geofyzikálním měřením, souborem laboratorních a polních zkoušek, budou sloužit pro bezpečnou realizaci budoucích traťových tunelů a stanic nové trasy metra I.D.

ABSTRACT

The section of the newly planned Prague metro line D No. 1 (ID) in the surroundings of Pankrác and Olbrachtova stations represents the most problematic part of the metro D line under design – it is so with respect to the very demanding solution to the construction, the expected geotechnical conditions of the tunnel excavation and the risks associated with negative influencing of the surrounding buildings and existing metro C line structures. An extensive supplementary engineering geological survey is currently underway in this metro section for the possibility of obtaining comprehensive geotechnical information about ground conditions and the influence of the underground construction on the surroundings. The results of the supplementary survey operations carried out in the form of exploratory galleries, exploratory boreholes from the surface and in the underground, geophysical measurements, a set of laboratory and field tests will serve to safe construction of future running tunnels and stations of the new metro ID line.

ZÁKLADNÍ ÚDAJE O PROJEKTU VÝSTAVBY METRA I.D

Plánovaná trasa D představuje čtvrtou linku pražského metra a má být vedena přibližně ve směru sever – jih, částečně paralelně s linkou C. První provozní úsek trasy metra D (označený I.D) zahrnuje 10 stanic a jeho celková délka je zhruba 10,6 km. Začíná na Vinohradech přestupní stanicí s linkou A Náměstí Míru, pokračuje přes Nusle (stanice Náměstí bratří Synků) a Pankrác (stanice Pankrác s přestupem na metro C, stanice Olbrachtova) a dále do Krče (stanice Nádraží Krč, Nemocnice Krč), Libuše (stanice Nové Dvory a Libuš) a Písnice (stanice Písnice), kde bude současně vybudované nové depo. S výjimkou stanice Nádraží Krč je celá trasa podzemní. První a dopravně nejpotřebnější etapou projektu výstavby trasy I.D je úsek Pankrác – Depo Písnice.

Ražené tunely tohoto úseku představují, zejména v oblasti přestupní stanice Pankrác a pokračování metra ve směru ke stanici Olbrachtova, velmi náročný stavební projekt – jak vzhledem k náročnosti samotné konstrukce, tak i s ohledem na složité inženýrskogeologické poměry související především se strukturálně komplikovanou stavbou a tektonickým porušením horninového masivu. Náročnost projektu v tomto úseku metra souvisí pochopitelně i s významným geotechnickým rizikem výstavby podzemní stavby v intravilánu města a v bezprostřední blízkosti provozované trasy metra C.

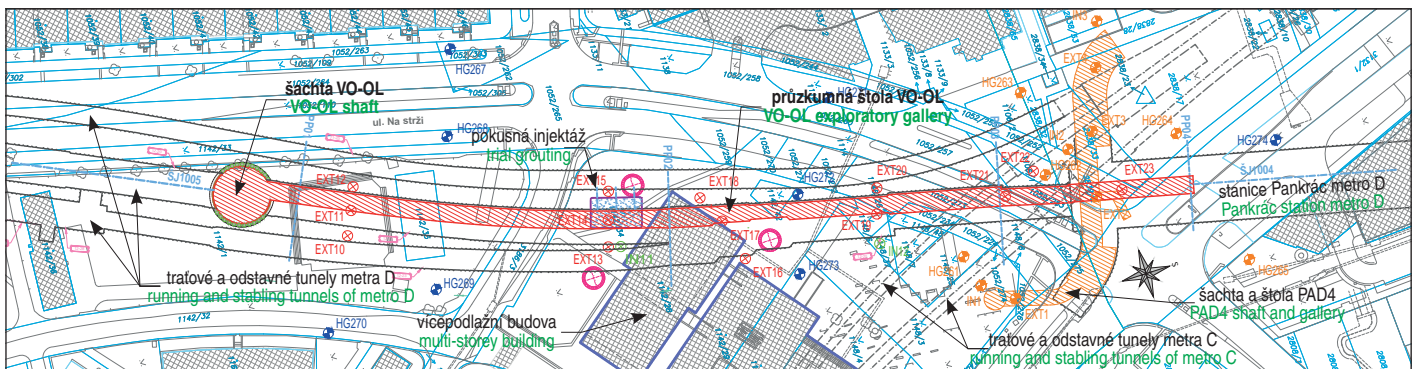
Stanice Pankrác D je umístěna pod křižovatkou ulic Na Pankráci, Na Strži a Budějovická. Je projektována jako jednodílná ražená stanice s plochou výrubu téměř 350 m². Navržené technické řešení umožňuje propojení se stanicí metra Pankrác C samostatným eskalátorovým tunelem. Navazující traťový úsek směrem ke dvouodílné ražené stanici Olbrachtova je nejsložitějším traťovým úsekem na celé trase I.D. Kromě dvoukolejných traťových tunelů je zde i velký rozplet do jednokolejného odstavného tunelu, umístěného vně trasy

BASIC DATA ON THE METRO ID CONSTRUCTION PROJECT

The planned Line D represents the fourth line of the Prague Metro system and is to be led approximately in the north – south direction, partly in parallel with the Line C. The first operating section of the metro line D (marked as ID) comprises 10 stations and its aggregate length amounts approximately to 10.6km. It begins in Vinohrady by a station for interchange with the Line A, continues across Nusle (Náměstí bratří Synků station) and Pankrác (Pankrác station with interchange to metro line C, Olbrachtova Station) and further to (Nádraží Krč, Nemocnice Krč stations), Libuše (Nové Dvory and Libuš stations) and Písnice (Písnice station), where a new depot will be constructed concurrently. The entire line, with the exception of Nádraží Krč station) is underground. The first and most needed stage of the ID line project is the Pankrác – Depo Písnice section.

Mined tunnels on this section, mainly in the area of Pankrác interchange station and the continuation of the metro in the direction of Olbrachtova station, represent a very complex civil engineering project – both with respect to the demands of the structure itself and the complicated engineering geological conditions associated first of all with the structurally complicated construction and tectonic faulting of the rock massif. Of course, the complexity of the project in this metro section is also related to the significant geotechnical risk of the underground structure constructed in the urban area of the city and in close vicinity of the operating C line of the metro.

Pankrác D station is located under the intersection of Na Pankráci, Na Strži and Budějovická streets. It is designed as a one-vault mined station with the excavated cross-sectional area



Obr. 1 Situace průzkumných prací v prostoru úseků VO-OL a PAD4

Fig. 1 Layout of survey operations in the area of VO-OL and PAD4 sections

metra na východní straně, přímo pod stávající nadzemní vícepodlažní budovou (obr. 1). Na opačné straně, opět vně trasy metra, je navíc situována ražená jednokolejná spojka mezi trasami D a C, která je před stanicí Olbrachtova zaústěna do pravého jednokolejného traťového tunelu.

DOPLŇKOVÝ INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝ PRŮZKUM

V současné době realizovaná etapa doplňkového inženýrskogeologického průzkumu v okolí stanic Pankrác a Olbrachtova navazuje na jednotlivé etapy geologických průzkumných prací pro trasu metra D, které byly v období 2010–2017 prováděny postupně s projektováním jednotlivých dílčích úseků trasy a příslušných stupňů projektové dokumentace. Na základě výsledků dřívějších etap průzkumných prací byl doplňkový inženýrskogeologický průzkum v této oblasti rozdělen na celkem čtyři úseky – PAD1, PAD4, VO-OL a OL1.

Základním cílem doplňkových průzkumných prací je ověření inženýrskogeologických a hydrogeologických podmínek výstavby v úsecích s nedostatečnou prozkoumaností, ověření pevnostních, přetvárných a technologických vlastností jednotlivých typů hornin a celého horninového masivu, ověření kritických úseků ražby s možným výskytem tektonických poruchových zón, ověření výskytu bludných proudů a rezistivity horninového prostředí. Získání komplexních geotechnických informací o horninovém prostředí bude základním podkladem pro bezpečnou realizaci budoucích traťových tunelů a stanic metra D.

V další části tohoto článku je stručně popsána metodika, rozsah a vybrané dosavadní výsledky průzkumných prací na úsecích VO-OL a OL1. Stavební a ražební práce na těchto úsecích provádějí společnosti HOCHTIEF CZ a. s. (VO-OL) a STRABAG a. s. (OL1). Geologické průzkumné práce zajišťuje společnost SG Geotechnika a. s.

GEOLOGICKÉ POMĚRY ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Předkvartérní podklad je v předmětném úseku stavby metra I.D tvořen převážně nejmladšími horninami ordoviku v podobě kosovského, královodvorského a bohdaleckého souvrství (obr. 2). V nejsevernější části stavby v prostoru stanice Pankrác a tunelové propojky C – D se vyskytují i mladší silurské horniny liteňského a kopaninského souvrství, které zde tvoří jádro barrandienské synklinály. Z hlediska inženýrské geologie tak bude při budoucí výstavbě zastížené široké spektrum značně litologicky i geotechnicky odlišných typů hornin – od tence vrstevnatých jílovitých břidlic, jílovců a prachovců přes pevnější, ale i křehčí droby, písčivce a křemence až po kompaktní a velmi pevné vápnité břidlice a vápence. Podmínky ražby budou na několika místech navíc komplikované také nepravidelnými pronikami a polohami vulkanických

amounting nearly to 350m². The proposed technical solution allows for its connection to Pankrác C station by an independent escalator tunnel. The track section linking in the direction of the double-vault Olbrachtova station is the most complicated track section on the entire ID line. Apart from twin-track running tunnels, there is also a large bifurcation to a single-track stabling tunnel there, which is located on the eastern side, outside the metro route, directly under an existing above-ground multi-storey building (see Fig. 1). On the other side, again outside the metro route, there is a mined single-track linking tunnel between the D and C lines there. It is again connected before Olbrachtova station to the right-hand single-track running tunnel.

SUPPLEMENTARY ENGINEERING GEOLOGICAL SURVEY

The currently implemented stage of the supplementary engineering geological survey in the vicinity of Pankrác and Olbrachtova stations is a follow-up of individual stages of geological survey operations for the metro D line which were performed in 2010–2017 gradually with designing individual partial sections of the line and respective degrees of design documentation. The supplementary engineering geological survey in this area was divided on the basis of results of the previous stages of survey operations into 4 sections – PAD1, PAD4, VO-OL and OL1.

The basic objective of the supplementary survey operations is to verify engineering geological and hydrogeological conditions of the construction in sections with insufficient survey, verify strength-related, deformational and technological properties of individual types of ground and the whole ground massif, verify critical sections of the tunnel excavation with possible occurrence of fault zones, verify occurrence of stray currents and resistivity of the ground environment. Obtaining comprehensive geotechnical information about the ground environment will be the basic source document for safe construction of the future metro D line running tunnels and stations.

The next part of this paper briefly describes the methodology, the extent and selected results of surveys on the VO-OL and OL1 sections obtained so far. The construction and mining work on these sections is carried out by HOCHTIEF CZ a. s. (VO-OL) and STRABAG a. s. (OL1). Geological survey is carried out by SG Geotechnika a. s.

GEOLOGICAL CONDITIONS IN THE AREA IN QUESTION

The Pre-Quaternary basement in the construction section in question is formed mostly by the youngest Ordovician rock in the form of the Kosov, Králův Dvůr and Bohdalec Formations (see Fig. 2). In the northern-most part of the construction in the area of Pankrác station and a tunnel linking the line C with line D,



Obr. 2 Bohdalecké břidlice se shluky „*Onnia superba*“ zastížené ve vrtu HG277 vedle šachty OLI

Fig. 2 Bohdalec Formation shale with clusters of “*Onnia superba*” encountered in HG277 borehole next to OLI shaft

hornin v podobě velmi pevných a masivních diabasů a lamprofyřů (minet).

Horninové podloží je v zájmovém území podle geologických map i výsledků předchozích etap průzkumných prací prostoupeno četnými zlomovými strukturami různých řádů, směrů a kinematiky. Tyto struktury mohou způsobovat jak opakování jednotlivých stratigrafických jednotek, přerušování průběhu jednotlivých souvrství nebo jejich vzájemné posunutí, tak zejména představovat oslabené oblasti horninového masivu s výrazně méně příznivými geotechnickými podmínkami výstavby.

Horniny předkvartérního podkladu jsou v zájmovém území překryty kvartérními sedimenty v podobě fluvialních a antropogenních uloženin. Fluvialní sedimenty tvoří materiál vyšších terasových stupňů Vltavy v prostoru pankrácké plošiny (pankrácká terasa) s mocností nejčastěji v rozmezí 5–8 m. Jako materiál teras převažují hlinité písky až písčité hlíny, písky s kolísajícím podílem štěrku a písčité štěrky s valouny o velikosti až 15–20 cm (obr. 3). Antropogenní uloženiny představují lokální terénní úpravy a zásypy výkopů stavebních jam, které vznikaly v průběhu výstavby města. Jejich výskyt, materiálové složení a mocnost je značně proměnlivé.

V zájmovém území se vzhledem ke geologickým poměrům vyskytují dvě základní zvodně – paleozoická a kvartérní. V ordovických a silurských horninách je podzemní voda vázána na přípovrchovou zónu rozvolnění hornin a na tektonicky porušená pásma. Horniny bohdaleckého a královodvorského souvrství mají vzhledem ke svému jílovitému charakteru poměrně nízkou propustnost a přítoky do podzemních děl jsou většinou velmi nízké. Větší přítoky podzemní vody jsou naopak vázány na polohy rozpukaných písčivců a křemenců kosovského souvrství nebo polohy pevnějších silurských vápnatých břidlic či diabasů. Kvartérní zvodně je tvořena polohou terasových uloženin s průlinovou propustností, kde se souvislá hladina podzemní vody vyskytuje v bazálních slabě zahluňených písčivých štěrčích v hloubce kolem 4,0–5,0 m pod terémem (mocnost zvodně tak většinou nepřesahuje 1 m).

PRŮZKUMNÉ PRÁCE NA ÚSEKU VO-OL

Vzhledem k technické náročnosti budoucí stavby metra I.D v prostoru stanice Pankrác a přilehlých tunelů, předpokládaným nepříznivým geotechnickým podmínkám a stanoveným cílům průzkumu je doplňkový inženýrskogeologický průzkum úseku

there are even upper Silurian rock types of the Liteň and Kopanina Formations, forming there the core of the Barrandian syncline. From the engineering geology point of view, a wide spectrum of significantly lithologically and geotechnically varying rock types – from thinly laminated clayey shale, claystone and siltstone via stronger but also more brittle greywacke, sandstone and quartzite up to compact and very strong calcareous shale and limestone. The tunnel excavation conditions will be, in addition, complicated in several locations by irregular intrusions and layers of volcanic rock types in the form of very strong and massive diabase and lamprofyre (minettes).

The bedrock in the area of interest, according to geological maps and results of previous stages of survey operations, contains numerous pervasive fault structures of various degrees, directions and kinematics. These structures can cause both repeating of individual stratigraphic units, interrupting the course of individual formations or mutual displacement, as well as they represent weak areas of ground massif with significantly less favourable geotechnical conditions of construction.

The Pre-Quaternary rock types forming the basement are overlaid by Quaternary sediments in the form of fluvial and anthropogenic sediments. The fluvial sediments form the material of higher terrace steps of the Vltava in the area the Pankrác plateau (Pankrác terrace) with the thickness most frequently ranging from 5 to 8 m. Loamy sand to sandy loams, sand with variable proportion of gravel and sandy gravel with 15–20 cm boulders are predominating materials of the terraces (see Fig. 3).

The anthropogenic sediments are represented by local terrain treatments and fills of construction pits which originated during the course of the urban development. Their occurrence, material composition and thickness are significantly variable.

There are two basic aquifers in the area of interest taking into consideration the geological conditions – the Palaeozoic and the Quaternary. Ground water in the Ordovician and Silurian rock types is bound to the near-surface zone of rock loosening and to tectonically faulted zones. The rock types forming the Bohdalec and Králův Dvůr Formations exhibit, with respect to their clayey character, relatively low permeability and inflows into underground workings are mostly very low. Conversely, greater groundwater inflows are bound to the layers of fractured sandstone and quartzite of the Kosov Formation or layers of stronger Silurian



Obr. 3 Hloubení úvodního úseku šachty VO-OL v prostředí písčivých štěrků pankrácké terasy

Fig. 3 Excavation of the initial section of VO-OL shaft in the environment of sandy gravels of the Pankrác Terrace



Obr. 4 Hloubení šachty VO-OL v prostředí břidlic bohdaleckého souvrství
Fig. 4 Excavation of VO-OL shaft in the environment of Bohdalec Formation shale

VO-OL projektován formou raženého průzkumného díla – šachty a štoly. Přístupová šachta kruhového tvaru má průměr 21,0 m a celkovou hloubku 36,6 m (velký průměr šachty projektován s ohledem na šířku budoucího dvoukolejného tratového tunelu metra, obr. 3). Šachta je zapažena převrtávanými pilotami délky 37,8 m, které jsou v hlavách spojeny ztužujícím ŽB věncem a v několika hloubkových úrovních vyztuženy kotvenými ŽB trámy (obr. 4). Průzkumná štola bude mít délku 322,2 m a podle tvaru výrubu a typu ostění bude rozdělena na deset částí. Tvar příčných profilů dílčích úseků štoly a jejich vyztužení bude voleno tak, aby je v budoucnu bylo možné využít jako dílčí výrubu budoucích tratových tunelů a navazující stanice Pankrác.

Program doplňkových průzkumných prací, kromě detailní inženýrskogeologické a strukturní dokumentace ražby vlastní průzkumné šachty a štoly, zahrnuje realizaci průzkumných vrtů z povrchu i z podzemí, provádění souboru presiomrických zkoušek v průzkumných vrtech, hydrodynamických zkoušek ve vrtech, laboratorních zkoušek mechaniky hornin a zemin, ověřování technologických vlastností hornin, provádění petrografických rozborů hornin, realizaci geofyzikálních měření v průzkumných vrtech a základního korozního průzkumu nebo ověřování účinnosti injektáže horninového masivu. Přehledná situace průzkumných prací v úseku VO-OL je uvedena na obr. 1.

První etapa průzkumných prací v úseku VO-OL byla zahájena před samotou ražbou průzkumné štoly a zahrnovala realizaci hydrogeologických, extenzometrických a inklinometrických vrtů z povrchu, které kromě upřesnění inženýrskogeologických a hydrogeologických poměrů slouží pro potřeby komplexního monitoringu ražby podzemního díla. Dokumentací těchto vrtů bylo získáno velké množství informací o rozšíření a mocnosti kvartérních zemin (tj. navážek a terasových uloženin), o výskytu jednotlivých ordovických a silurských souvrství a jim odpovídajících litologických typů hornin. Pomocí realizace velkého souboru laboratorních zkoušek byl upřesněn jak charakter kvartérních zemin, tak zejména fyzikálních a geomechanických vlastností jednotlivých typů hornin zastižených ve vrtech. Dokumentací vrtů byly dále upřesněny informace o strukturních prvcích horninového masivu v podobě sklonu vrstevních ploch, charakteru a intenzity tektonického porušení hornin v prostoru budoucí stavby i jejího okolí. Pomocí realizace hydrodynamických zkoušek byly upřesněny hydrogeologické

calcareous shale or diabase. The Quaternary aquifer is formed by a layer of terrace sediments with interstitial permeability, where continuous water table occurs in basal weakly loamy sandy gravel at the depth fluctuating about 4.0–5.0m under the terrain surface (thus the aquifer thickness mostly does not exceed 1m).

SURVEY OPERATIONS IN VO-OL SECTION

Taking into consideration the technical complexity of the future metro ID line construction in the area of Pankrác station and adjoining tunnels, the anticipated unfavourable geotechnical conditions and the prescribed objectives of the survey, the supplementary engineering geological survey of the VO-OL section is designed to have the form of mined survey workings – shafts and galleries. The circular access shaft has the diameter of 21.0m and the total depth of 36.6m (the large diameter of the shaft is designed with respect to the width of the future double-track metro tunnel (see Fig. 3). The shaft is braced by 37.8m long secant bored piles, the heads of which are connected by a reinforced concrete collar and the piles are reinforced at several levels by anchored RC walers (see Fig. 4). The exploratory gallery will be 322.2m long and will be divided into ten parts according to the shape of the excavated opening and the type of lining. The shape of cross-sections and excavation support of the partial sections of the gallery will be designed with the objective to allow for their use as partial excavations of the future running tunnels and adjoining Pankrác station.

The programme of the supplementary survey operations, with the exception of detailed engineering geological and structural documentation of the excavation of the survey shaft and gallery itself, comprises execution of survey boreholes from the surface and from the underground, implementation of a set of pressuremeter tests in survey boreholes, hydrodynamic tests in boreholes, laboratory tests of rock and soil mechanics, verification of technology properties of rock, conducting petrographical analyses of rock, carrying out geophysical measurements in survey boreholes and basic corrosion survey or verification of effectiveness of injecting grout into the rock mass. Overall situation of survey operations in the VO-OL section is presented in Fig. 1.

The first stage of survey operations in the VO-OL section commenced before the excavation of the exploratory gallery itself and comprised conducting hydrogeological, extensometer and inclinometer boreholes from the surface, which, apart from refining the engineering geological and hydrogeological conditions, are used for the needs of comprehensive monitoring of the underground excavation. A large amount of information about the extent and thickness of Quaternary soils (i.e. made ground and terrace sediments), the occurrence of individual Ordovician and Silurian Formations and lithological rock types corresponding to them was obtained by the documentation of the boreholes. Both the character of Quaternary soils and mainly the physical and geomechanical properties of individual ground types encountered in the boreholes were refined by conducting the large set of laboratory tests. In addition, information about structural elements of the ground massif in the form of the dip of bedding planes, the character and intensity of tectonic faulting of rock in the area of the future construction and its surroundings was refined by the documentation of the boreholes. The hydrogeological conditions and hydraulic properties of the Quaternary soils and different types of Pre-Quaternary ground were specified by hydrodynamic testing.



Obr. 5 Bohdalecké břidlice s vyhlazenými střížnými puklinami až zlomy s povlaky sádrovice

Fig. 5 Bohdalec Formation shale with slickensided shear joints up to faults with gypsum coats

poměry a hydraulické vlastnosti kvartérních zemin a odlišných typů předkvartérních hornin. Provedenými chemickými analýzami bylo ověřeno chemické složení podzemní vody.

Hloubení přístupové šachty VO-OL bylo zahájeno v průběhu srpna 2019 (obr. 3). Podle předpokladu předchozích průzkumů byly při hloubení šachty ve vrchních polohách zastiženy uloženy pankrácké terasy, které zde v hloubce kolem 6 m přecházejí do zcela zvětralých břidlic bohdaleckého souvrství. V rámci dokumentace hloubení šachty byly především upřesněny hranice intenzity zvětrání a strukturální charakteristiky horninového masivu v podobě orientace vrstevních ploch, charakteru a četnosti extenzních a střížných puklin, výskytu zlomových struktur a poruchových pásem (obr. 5). V jižní části dna šachty bylo zastiženo těleso silurské minety s výrazně vyšší pevností a nižší intenzitou rozpukání.

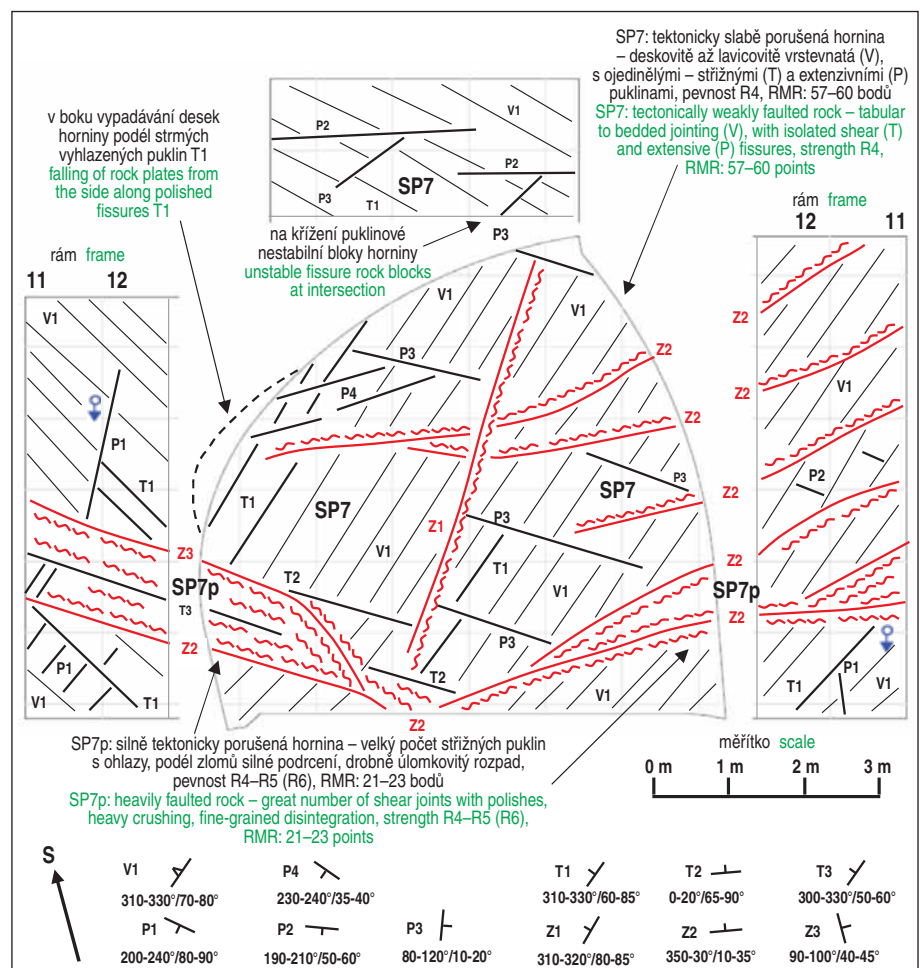
Po vyhloubení šachty na konečnou úroveň byla v průběhu ledna 2020 zahájena ražba samotné průzkumné štoly. V průběhu ražby je prováděna standardní inženýrskogeologická a geotechnická dokumentace zastižených podmínek (obr. 6). Zvýšená pozornost je soustředěna na dokumentaci jednotlivých strukturálních prvků, zejména pak výskytu výrazněji tektonicky porušených oblastí horninového masivu. Na charakteristických vzorcích jsou prováděny geomechanické zkoušky a petrografické rozborů. Popis horninového masivu je prováděn pro možnost jeho hodnocení podle užívaných tunelářských klasifikačních systémů. Strukturální prvky jsou v charakteristických úsecích vyhodnocovány základní orientační analýzou. V těchto úsecích je rovněž prováděna kinematická analýza metodou klíčových bloků pomocí softwaru UnWedge od společnosti Rock Science.

V úvodním úseku štoly VO-OL byly v plném rozsahu zastiženy zdravé, tmavě šedé,

Chemical composition of groundwater was verified by chemical analyses.

The excavation of the VO-OL access shaft started during the course of August 2019 (see Fig. 3). According to the assumptions of the previous surveys, the Pankrác terrace sediments were encountered during the shaft excavation in the upper layers. They pass here to completely weathered shale of the Bohdalec Formation at the depth of about 6m. The boundaries of the weathering intensity and structural characteristics of the ground massif in the form of orientation of bedding planes, the character and frequency of extension and shear joints, occurrence of fault structures and fault zones were specified within the framework of the documentation of the shaft excavation. A Silurian minette body with significantly higher strength and lower intensity of fracturing was encountered in the southern part of the shaft bottom.

The excavation of the exploratory gallery started after completion of the excavation of the shaft to the final level during the course of January 2020. Standard engineering geological and geotechnical documentation of the conditions encountered was carried out during the course of the excavation (see Fig. 6). Increased attention is focused on documentation of individual structural elements, first of all the occurrence of more significantly faulted areas of the rock massif. Geomechanical tests and petrographical analyses are conducted on characteristic specimens. Description of the rock massif is carried out for the purpose of allowing its assessment according to tunnelling classification systems used in practice. The structural elements in the characteristic sections are assessed



Obr. 6 Zákres charakteristické čelby v prostředí bohdaleckého souvrství bez výrazných poruchových pásem

Fig. 6 Drawing of characteristic excavation face in the environment of the Bohdalec Formation without significant fault zones



Obr. 7 Výrazně tektonické pásmo zastižené v úvodním úseku štoly VO-OL
Fig. 7 Significantly faulted zone encountered in the initial section of VO-OL gallery

jílovito-prachovité břidlice bohdaleckého souvrství různého stupně tektonického porušení. Bohdalecké břidlice jsou v úrovni štoly deskovitě až lavicovitě vrstevnaté, s pevností R4, nepravidelně porušené různě četnými a průběžnými extenzními i střížnými puklinami s charakteristickými ohlazy, rýhováním a bělavými povlaky sádrowce. Podél výraznějších zlomů a v poruchových pásmech jsou břidlice silně rozpukané, drobně úlomkovitě rozpadavé, s četnými ohlazy na puklinách, s mírně nižší pevností (R4–R5), místy silně podrcené a mající až charakter jílovité zeminy s drobnými rukou držitelnými úlomky (obr. 7).

V úseku štoly TM 110–115 byl zastižen přechod do hornin královodvorského souvrství v podobě tzv. „podolského rudního obzoru“. Toto souvrství je tvořeno rovněž výhradně tence vrstevnatými prachovitými jílovci mírně světlejší barvy (menší obsah organického uhlíku), s častým výskytem konkrécí pyritu, s obdobnými geomechanickými vlastnostmi i charakterem tektonického porušení (obr. 8),



Obr. 8 Čelba štoly VO-OL v TM 135,5 zastihující zdravé břidlice královodvorského souvrství bez výrazného tektonického porušení
Fig. 8 Excavation face of VO-OL gallery at TM 135.5 chainage encountering fresh Králův Dvůr Formation shale without marked tectonic faulting

using a basic orientation analysis. In these sections, the kinematic analysis is also carried out employing the Key Blocks method using the UnWedge software provided by the company of Rock Science.

Fresh, dark grey, clayey-silty shale of the Bohdalec Formation with various degrees of faulting were encountered within full extent in the initial section of the VO-OL gallery. Bohdalec Formation shale at the level of the gallery is tabularly to platy jointed, with R4 strength, irregularly faulted by variously numerous and persistent extensive and shear joints, with characteristic slickensides, scoring and whitish gypsum coating. Along more significant faults and fault zones, the shale is heavily fractured, disintegrating to small shards, with numerous slickensides on cracks, with moderately lower strength (R4–R5), locally heavily crushed and having the character of up to clayey soil with small fragments crushable by hand (see Fig. 7).

Transition to the Královo Pole Formation rock in the form of the so-called “Podolí Ore Horizon” was encountered in the TM 110–115 chainage of the gallery. This formation is also formed by exclusively thinly bedded silty claystone with moderately lighter colour (smaller content of organic carbon), with frequent occurrence of pyrite concretions, with geomechanical properties and character of the tectonic faulting (see Fig. 8) similar to the Bohdalec Formation shale. The transition to the youngest Kosov Formation is expected in the gallery section approximately at the tunnel meter 210 (as of the beginning of September 2020, 180m of the gallery excavation were completed).

Part of the survey operations is the installation of four pressuremeter profiles (PP01–PP04) covering always two vertical boreholes (roof and bottom) and two horizontal boreholes for the possibility of verification of engineering geological, structural and geotechnical parameters of the ground mass in the exploratory gallery



Obr. 9 Realizace horizontálního průzkumného vrtu presiometrického profilu PP01
Fig. 9 Drilling for the horizontal survey borehole in the PP01 pressuremeter profile

jako tomu je u břidlic bohdaleckých. Přechod do nejmladšího kosovského souvrství je očekáván v úseku štoly zhruba kolem tunelometru 210 (k začátku září 2020 bylo vyraženo zatím 180 m štoly).

Pro možnost ověření inženýrskogeologických, strukturních a geotechnických parametrů horninového masivu v okolí průzkumné štoly (tj. v prostoru budoucí ražby tratových tunelů a stanice Pankrác – obr. 1) je součástí průzkumných prací realizace čtyř presiometrických profilů (PP01–PP04) zahrnujících vždy dva vertikální (strop a dno) a dva horizontální vrty. Kromě podrobného popisu vrtného jádra a laboratorních zkoušek na odebraných vzorcích hornin jsou ve vrtech prováděna presiometrická měření pro určení přetvárných charakteristik horninového masivu s různou litologií, stupněm porušení a zvětrání (obr. 9, 10).

Pro ověření inženýrskogeologických a geotechnických poměrů ve směru ražby ke stanici Olbrachtova byl ze dna šachty VO-OL realizován horizontální 70 m dlouhý průzkumný vrt ŠJ1005 (obr. 3). Tento vrt zejména ověřil rozsah silurské minety a pomohl identifikovat oblasti horninového masivu s výrazným tektonickým porušením. Geomechanické vlastnosti masivu v úvodní části vrtu byly zjištěny pomocí presiometrických zkoušek. Výskyt tektonického porušení horninového masivu byl upřesněn pomocí realizace karotážních měření a vrtného georadaru. Po dokončení ražby štoly bude obdobný průzkumný vrt realizován i do prostoru stanice Pankrác s výskytem silurských hornin (diabasů a břidlic).

Součástí průzkumných prací úseku VO-OL je rovněž ověření účinnosti různých injektážních směsí pro zlepšení geotechnických podmínek ražby v tektonicky porušených oblastech horninového masivu a rizikových místech průchodu ražby pod stávajícími objekty povrchové zástavby (obr. 1). Tento injektážní pokus zahrnuje v první etapě realizaci série krátkých vrtů do stěny štoly s následnou dokumentací, odběrem vzorků hornin, presiometrickým a geofyzikálním měřením. V druhé etapě pak po aplikaci vybraných injektážních hmot (dva typy chemické injektáže a mikro cement) bude do stejného prostoru horninového masivu provedena pro zhodnocení účinnosti injektáže série obdobných zkoušek a měření v nově realizovaných vrtech.

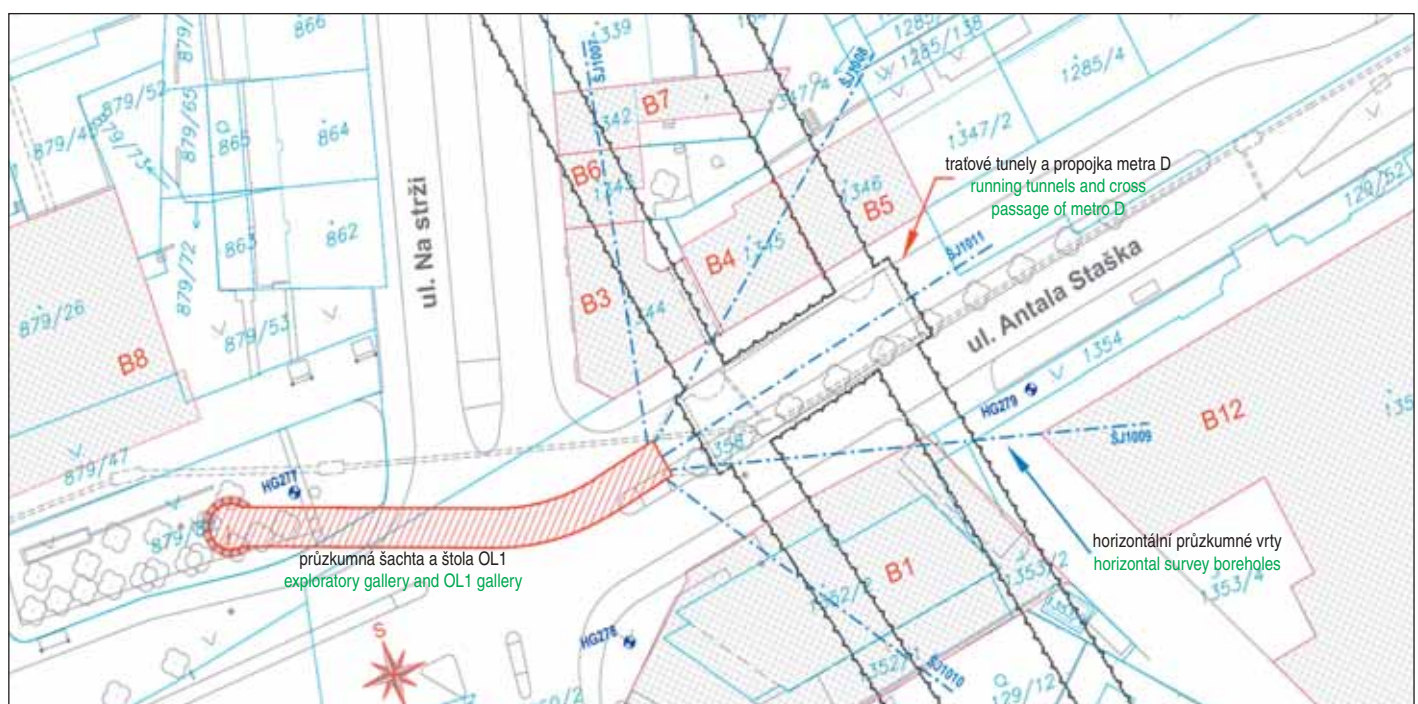


Obr. 10 Jádro vrtu PP01-J2 zastihující břidlice bohdaleckého souvrství s různým stupněm tektonického porušení

Fig. 10 Core of PP01-J2 borehole encountering Bohdalec Formation shale with various degrees of tectonic faulting

surroundings (i.e. in the area of the future excavation of running tunnels and Pankrác station – see Fig. 1). Apart from the detailed description of the borehole core and laboratory tests on the obtained specimens of ground, pressuremeter measurements for determination of deformational characteristics of the ground massif with various lithology, the degree of fracturing and weathering are conducted in the boreholes (see Figures 9 and 10).

A horizontal 70m long survey borehole ŠJ1005 (see Fig. 3) was carried out from the bottom of the VO-OL shaft for the purpose of verifying engineering geological and geotechnical conditions in the direction of the excavation toward Olbrachtova station. In particular, this borehole verified the extent of the Silurian minette and helped to identify areas of the rock massif with significant tectonic faulting. Geotechnical properties of the massif in the



Obr. 11 Situace průzkumných prací v prostoru úseku OLI

Fig. 11 Layout of survey operations in the area of OLI section



Obr. 12 Hloubení šachty OLI na přechodu terasových písčitéch štěrků a vrchních zcela zvětralých poloh břidlic bohdaleckého souvrství

Fig. 12 Excavation of OLI shaft at the transition of terrace sandy gravel and upper, completely weathered, Bohdalec Formation shale layers

PRŮZKUMNÉ PRÁCE NA ÚSEKU OL1

S ohledem na umístění budoucích traťových tunelů, předpokládá se nepříznivé geotechnické poměry a cíle doplňkového průzkumu byl doplňkový inženýrskogeologický průzkum úseku OL1 projektován formou hloubeného a raženého průzkumného díla – šachty a štoly. Přístupová šachta kruhového tvaru má průměr 8,6 m a celkovou hloubku 29,9 m. Šachta byla zapažena převrtávanými pilotami délky 34 m, které jsou v hlavách spojeny ztužujícím ŽB věncem a v jedné hloubkové úrovni rozepřeny ŽB trámem. Průzkumná štola kruhového průřezu má celkovou délku 63,3 m (délka od středu šachty) a končí v místě budoucí propojky mezi traťovými tunely metra. V rámci ražby byla štola členěna na kalotu a dno s celkovou teoretickou plochou výrubu 21,7 m².

Program průzkumných prací tohoto úseku, kromě detailní dokumentace vlastní průzkumné šachty a štoly, zahrnoval obdobně jako v případě úseku VO-OL dokumentaci průzkumných vrtů realizovaných z povrchu i z podzemí, soubory presiometrických zkoušek a karotážních měření ve vrtech, hydrodynamické zkoušky ve vrtech, laboratorní zkoušky mechaniky hornin a zemín, zkoušky technologických vlastností hornin, petrografické rozborů hornin a základní korozní průzkum. Přehledná situace průzkumných prací úseku OL1 je uvedena na obr. 11.

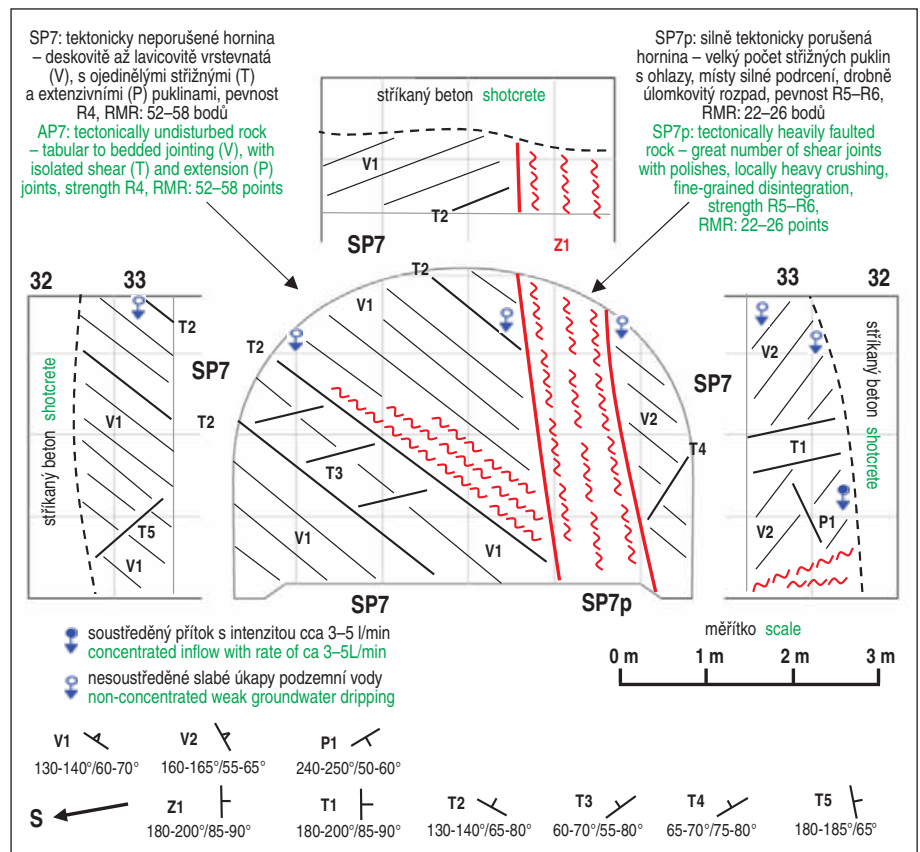
V první etapě průzkumu před hloubením šachty a ražbou štoly byla provedena dokumentace celkem tří hydrogeologických vrtů, ve kterých byly posléze provedeny hydrodynamické zkoušky s odběrem vzorků vody na chemické rozborů. Na vzorcích zemín a hornin z těchto vrtů byly provedeny laboratorní zkoušky pro zjištění geotechnických a geomechanických parametrů. Hloubení přístupové šachty OLI bylo zahájeno v průběhu října 2019. Obdobně jako v případě šachty VO-OL byly i zde pod polohou terasových

initial part of the borehole were determined by pressuremeter tests. The occurrence of tectonic faults in the rock massif was refined by borehole logging and cross-borehole ground-penetrating radar. After completion of the gallery excavation, similar survey will be carried out even in the area of Pankrác station, where Silurian rock types (diabase and shale) occur.

The verification of effectiveness of various grouting mixtures for improvement of geotechnical properties for underground excavation in tectonically faulted areas of the ground massif and risk locations of the excavation passage under existing buildings is also part of survey operations for the VO-OL section (see Fig. 1). This grout injection experiment at the first stage comprises a series of holes drilled into the gallery wall with subsequent documentation, collecting ground specimens and pressuremeter and geophysical measurements. At the second stage, after application of selected grouting materials (two types of chemical grout and microfine cement), grout will be injected into the same space of the ground massif for the purpose of assessing the effectiveness of grouting in series of similar tests and measurements in the newly carried out boreholes.

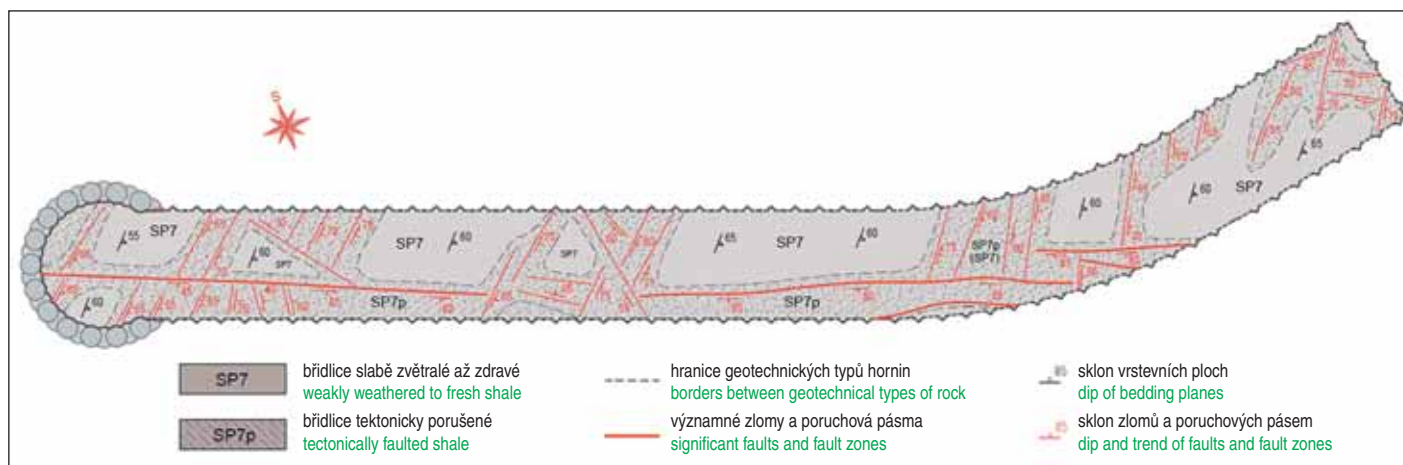
SURVEY OPERATIONS IN THE OL1 SECTION

Taking into consideration locations of the future running tunnels, the anticipated unfavourable geotechnical conditions and objectives of the supplementary survey, the supplementary engineering geological survey of the OL1 section was designed in the form of a cut-and-cover and mined workings – a shaft and a gallery. The access shaft is circular, with the diameter of 8.6m and total depth of 29.9m. The shaft was braced by 34m long secant bored piles with a reinforcing RC collar on their heads and with an RC waler bracing



Obr. 13 Základní charakteristické čelby štoly OLI v prostředí bohdaleckého souvrství s výraznou poruchovou zónou v pravé části

Fig. 13 Drawing of a characteristic excavation face of OLI gallery in the environment of the Bohdalec Formation with a marked fault zone in the right-hand part



Obr. 14 Horizontální geologický řez štolou OLI sestavený na základě dokumentace ražby (v úrovni cca 2,0 m pod stropem kaloty)

Fig. 14 Horizontal geological section through OLI gallery carried out on the basis of documentation of the excavation (ca 2m under top heading roof)

písčitých štěrků zastíženy břidlice bohdaleckého souvrství s různým stupněm zvětrání a tektonického porušení (obr. 12).

Ražba samotné průzkumné štolu OL1 probíhala v období únor – červen 2020. V průběhu ražby byla prováděna standardní inženýrsko-geologická a geotechnická dokumentace zastížných podmínek (obr. 13), hodnocení horninového masivu podle RMR, strukturální dokumentace, orientační (obr. 14, 15) a kinematické analýzy jako v případě štolu VO-OL.

Podle předpokladu předchozích průzkumných prací byly v celé délce štolu zastíženy jílovitoprachovité břidlice bohdaleckého souvrství. Z hlediska významných strukturálních prvků bylo, kromě dílčích zlomových struktur v celé délce štolu, zastíženo výrazné poruchové pásmo s mocností 1–3 m, kde je hornina silně rozpukaná, drobně úlomkovitě rozpadává, v polohách s výrazně sníženou pevností (úlomky rukou snadno drtitelné), podél zlomů až charakteru jílovité zeminy s drobnými úlomky – horizontální geologický řez na obr. 14 a vrtné jádro ŠJ1010 na obr. 16.

Po vyzrazení štolu bylo z jejího konce do prostoru přilehlých traťových tunelů a propojky provedeno celkem pět průzkumných horizontálních vrtů s délkou 50–68 m (obr. 11), zastihující bohdalecké břidlice s různou intenzitou tektonického porušení (obr. 16). Dále

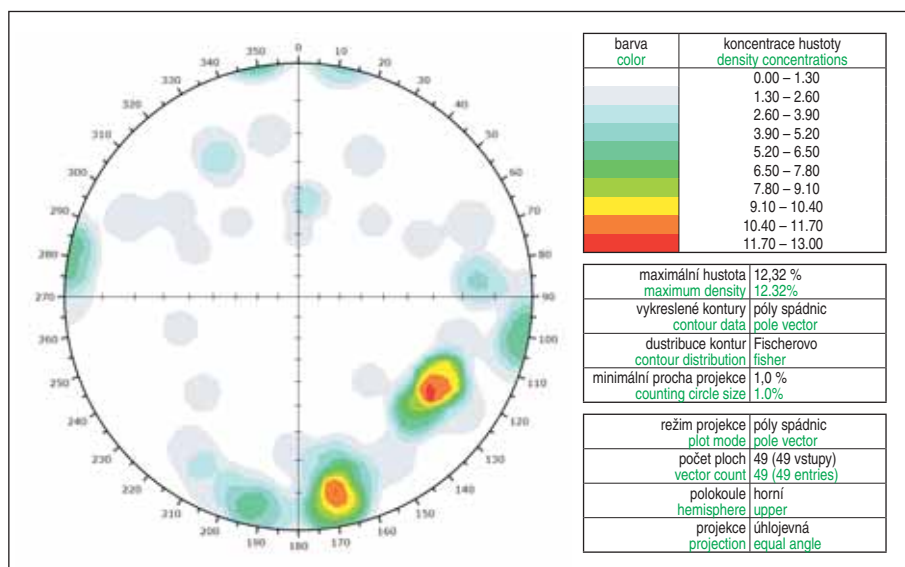
them at one depth level. The total length of the circular cross-section exploratory gallery amounts to 63.3m (the length measured from the shaft centre). It ends in the location of a future crossover tunnel between running metro tunnels. The gallery was divided within the framework of the excavation into top heading and bottom with the total theoretical excavation cross-section of 21.7m².

The programme of survey operations in this section comprised, apart from detailed documentation of the exploratory shaft and gallery, similarly to the VO-OL section, documentation of survey carried out from the surface and from the underground, sets of pressuremeter tests and borehole surveys, hydrodynamic tests in boreholes, laboratory testing of rock and soil mechanics, testing of technology properties of ground, petrographical analyses of rock and basic corrosion survey. General map of survey operations in OLI section is presented in Fig. 11.

At the first survey stage before the shaft excavation and excavation of the gallery, documentation of the total of three hydrogeological boreholes was carried out, where hydrodynamic tests with collection of specimens of water for chemical analyses were subsequently conducted. Laboratory tests were conducted on the specimens of soils and rock from the boreholes to determine the geotechnical and geomechanical parameters. The excavation of the OLI shaft commenced during the course of October 2019. Similarly as in the case of VO-OL shaft, Bohdalec Formation shales with various degrees of weathering and tectonic faulting were encountered under the layer of terrace sandy gravel (see Fig. 12).

The excavation of the OLI exploratory gallery was carried out in February – June 2020. During the course of the excavation, standard engineering geological and geotechnical documentation of the conditions encountered (see Fig. 13), assessment of the ground massif according to the RMR method, structural documentation, orientation (see Figures 14 and 15) and kinematic analyses were conducted as in the case of the VO-OL gallery.

As assumed by the previous survey operations, clayey-silty shale of the Bohdalec



Obr. 15 Příklad výstupu orientační strukturální analýzy – vyhodnocení četnosti a orientace extenzních puklin v II. úseku štolu OLI (Wulffova stereografická síť v úhlojevné projekci)

Fig. 15 Example of the output from an orientation structural analysis – assessment of frequency and orientation of extension joints in section II of OLI gallery (Wulff stereographic net in angle-showing projection)



Obr. 16 Jádro vrtu ŠJ1010 zastihující mocné poruchové pásmo zastížené rovněž v průzkumné štoli OLI

Fig. 16 Core of ŠJ1010 borehole encountering thick fault zone encountered also in the OLI exploratory gallery

pak byly provedeny dva kratší vertikální vrty – do stropu a dna štoly. Ve všech vrtech byla po detailní dokumentaci a odběru vzorků hornin provedena presiometrická měření pro zjištění geomechanických parametrů horninového masivu. V horizontálních vrtech bylo navíc pro identifikaci poruchových pásem provedeno komplexní karotážní měření. Na základě vyhodnocení dokumentace štoly a průzkumných vrtů, laboratorních zkoušek a polních měření ve vrtech budou komplexně vyhodnoceny podmínky ražby tratových tunelů a propojky v tomto úseku.

ZÁVĚR

V dosavadním průběhu realizace doplňkových průzkumných prací na objektech VO-OL a OLI bylo získáno velké množství informací o inženýrskogeologických, strukturních a geotechnických charakteristikách horninového prostředí v prostoru budoucí výstavby tunelů v okolí stanic Pankrác a Olbrachtova.

Po dokončení všech projektovaných průzkumných prací i na dalších úsecích PAD1 a PAD4 umožní získané informace o horninovém masivu a vlivu podzemní výstavby na okolní prostředí (sledované v rámci komplexního geotechnického monitoringu) navrhnout ekonomicky a bezpečnostně nejvhodnější variantu projektu a postupu výstavby tohoto nejkomplicovanějšího úseku nové trasy metra I.D.

Mgr. JIŘÍ TLAMSA, Jiri.Tlamsa@geotechnika.cz
 Mgr. RADEK ONYSKO, Radek.Onysko@geotechnika.cz
 Bc. JAN ZEMÁNEK, Jan.Zemanek@geotechnika.cz
 SG Geotechnika a.s.

Recenzoval **Reviewed:** Ing. Jan Frantl

Formation was encountered throughout the gallery length. From the aspect of significant structural elements, a significant fault zone 1–3m thick was encountered apart from partial fault structures occurring throughout the gallery length. The rock in this zone is heavily cracked, disintegrating to small shards, with significantly reduced strength in the layers (fragments easily crashed by hand), with the character of up to clayey loam with small fragments along the faults – the horizontal geological section is in Fig. 14 and the borehole core ŠJ1010 in Fig. 16.

After completion of the gallery excavation, the total of five 50–68m long horizontal exploratory boreholes were carried out from its end to the space of the adjacent running tunnels and the tunnel connecting line C with line D. The boreholes encountered Bohdalec Formation shale with varying intensity of tectonic faulting (see Fig. 16). Further on, two shorter vertical boreholes were carried out to the roof and bottom of the gallery. After detailed documentation and collection of ground specimens, pressuremeter measurements were conducted in all boreholes for determination of geomechanical parameters of the ground massif. In the horizontal boreholes, comprehensive borehole survey was carried out in addition for identification of fault zones. The conditions for excavation of running tunnels and the tunnel connecting the line C with the line D in this section will be comprehensively assessed on the basis of the assessment of the documentation of the gallery and survey boreholes, laboratory tests and field measurements in the boreholes.

CONCLUSION

A large amount of information on engineering geological, structural and geotechnical characteristics of the ground environment in the area of the future construction of tunnels in the surroundings of Pankrác and Olbrachtova stations has been obtained during the work on the supplementary survey of the VO-OL and OLI objects.

After completion of all planned survey operations even in the following PAD1 and PAD4 sections, the obtained information about the ground massif and the influence of underground construction work on the surrounding environment (monitored within the framework of the comprehensive geotechnical monitoring) will allow for designing the economically and in terms of safety most suitable variant of the design and procedure of construction of this most complicated section of the new Metro Line ID.

Mgr. JIŘÍ TLAMSA,
Jiri.Tlamsa@geotechnika.cz
 Mgr. RADEK ONYSKO,
Radek.Onysko@geotechnika.cz
 Bc. JAN ZEMÁNEK,
Jan.Zemanek@geotechnika.cz
 SG Geotechnika a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] *Projekt geologických prací. Výstavba trasy I.D metra v Praze – úsek Pankrác – Depo Písnice. Doplňkový geologický průzkum – úsek OLI. SG Geotechnika a.s., červen 2019*
- [2] *Průběžné výsledky doplňkového inženýrskogeologického průzkumu. Výstavba trasy I.D metra v Praze – úsek Pankrác – Depo Písnice. Doplňkový geologický průzkum – úsek OLI. SG Geotechnika a.s., červen 2019 – srpen 2020*
- [3] *Projekt geologických prací. Výstavba trasy I.D metra v Praze – úsek Pankrác – Depo Písnice. Doplňkový geologický průzkum – úsek VO-OL. SG Geotechnika a.s., červen 2019*
- [4] *Průběžné výsledky doplňkového inženýrskogeologického průzkumu. Výstavba trasy I.D metra v Praze – úsek Pankrác – Depo Písnice. Doplňkový geologický průzkum – úsek VO-OL. SG Geotechnika a.s., červen 2019 – srpen 2020*

VÝVOJ OPTOVĚKOVÝCH SNÍMAČŮ DEFORMACE PRO GEOTECHNICKÝ MONITORING A PŘÍKLADY APLIKACÍ DEVELOPMENT OF OPTICAL FIBRE STRAIN SENSORS FOR GEOTECHNICAL MONITORING AND EXAMPLES OF APPLICATIONS

MAREK ZÁLESKÝ, JAN ZÁLESKÝ, LADISLAV ŠAŠEK

ABSTRAKT

Pracovní skupina SG Geotechnika a.s., Stavební fakulta ČVUT v Praze a SAFIBRA, s.r.o., zkoumá a vyvíjí možnosti užití optovláknových snímačů pro sledování deformací v geotechnice od roku 2010. Společný výzkum je založen na využití metod Brillouin Time Domain Analysis (BOTDA) a Fiber Bragg Gratings (FBG). V prvním případě se jedná o distribuované snímání deformace a teploty, ve druhém o vývoj jednotlivých snímačů a jejich propojování k popisu vývoje deformací v prostředí staveb a v souvisejících geotechnických konstrukcích. V článku jsou představeny pilotní instrumentace a vybrané výsledky optovláknových měření: sledování deformací primárního ostění při výstavbě pražského metra a užití snímačů FBG ke sledování svislých deformací podloží historických staveb – tento systém měření může být užíván i pro sledování vývoje poklesové kotliny při ražbě například městských tunelů. Dále je popsána laboratorní část vývoje FBG měřidla deformací primárního ostění podzemních staveb.

ABSTRACT

The working group of SG Geotechnika a.s., the Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University in Prague and SAFIBRA, s.r.o. researches and develops applications of fibre optic sensors for strain monitoring in geotechnical engineering since 2010. The joint research is based on the use of the Brillouin Time Domain Analysis (BOTDA) and the Fibre Bragg Gratings (FBG) methods. In the first case, the subject of the research is the distributed sensing of strain and temperature, in the second case, it is the development of discrete sensors and chains of sensors in order to describe development of strains in the environment of constructions and in related geotechnical structures. The paper presents pilot instrumentations and selected results of fibre optic measurements: monitoring of deformations of primary lining during the construction of Prague Metro V.A and the use of FBG sensors for monitoring of vertical strains in the subsoil of historic buildings – this measurement system can be used for monitoring of the development of settlement troughs, for example during the advance of urban tunnels. Further, a laboratory phase of development of FBG sensor for monitoring of primary lining deformation in underground structures is described.

ÚVOD

Optovláknové snímače používané ve výzkumu jsou velmi citlivé na podélné deformace v ose optického vlákna, ale i na teplotu. Optická vlákna pro měření deformací od různých výrobců musejí být většinou opatřena dodatečnou ochranou, aby byla dostatečně odolná jako měřicí prvky v horninovém masivu nebo v geotechnické konstrukci, kde je součástí instrumentace například monitorovacího vrtu nízkotlaká injektáž. Snímače osazované v podzemních stěnách a v pilotách jsou vystaveny vlivům betonáže. Snímače v masivu a na zemních nebo horninových kotvách jsou osazovány do prostředí s cementovou injektáží (kompenzační injektáž a injektáž kotev). V tělesech násypů nebo při sledování vyztužených zemin jsou optická vlákna vystavena vlivům hutnění a mechanickým vlivům ve styku s jejich blízkým okolím. Vlákna s FBG mřížkami jsou od výrobce většinou chráněna pouze sekundární ochranou optického vlákna, měřicí kabely pro metodu BOTDA jsou opatřeny např. plastovou ochranou, která není většinou dostatečná pro přímé užití v prostředí výstavby geotechnických konstrukcí. Proto je výzkum a vývoj zaměřen i na způsoby ochrany optických vláken, a to především proti mechanickému poškození a vlhkosti. Ochrana měřicího optického vlákna musí zároveň umožnit přenos deformací ze sledovaného prostředí do jádra optického vlákna beze ztrát.

Současně probíhá výzkum postupů upínání při instrumentacích, protože se u měřicího vlákna musí v režimu měření udržet alespoň minimální předpětí k zachování jeho mechanické stability. Další nutnou součástí optovláknových instrumentací jsou postupy

INTRODUCTION

Fibre optic sensors used in the research are very sensitive to longitudinal deformations along the optical fibre axis, but also to temperature. Optical fibres for deformation measurement from various manufacturers usually have to be provided with additional protection to be sufficiently resistant as measurement elements in rock massif or in a geotechnical construction. For example, instrumentation of a monitoring borehole consists of low-pressure grouting. Sensors installed in diaphragm walls and piles are exposed to the influence of concreting. Sensors in massif and at earth anchors or rock anchors are installed into an environment containing cement grout (compensation grouting and anchor bolt grouting). In the bodies of embankments or in the cases of monitoring reinforced soil structures, optical fibres are exposed to compaction and mechanical effects at contact with their surroundings. The fibres with FBG gratings are protected by the manufacturer only by secondary protection of the optical fibre, whilst the measurement cables for the BOTDA method are manufactured, for example, with plastics protection, which is mostly insufficient for direct use in the environment of construction of geotechnical structures. That is why research and development is focused also on methods of optical fibre protection, especially against mechanical damage and moisture. However, the protection of measuring optical fibres must allow the transmission of strains from the monitored environment to the optical fibre core without losses.

Research of optical fibre fixing during instrumentation is carried out, because at least a minimum pre-stress must be maintained

zajištění polohopisu osazených vláken pro interpretaci naměřených dat a vyjádření deformací sledovaného masivu, konstrukčních prvků i geotechnické konstrukce jako celku.

Postupy zpracování dat a vyhodnocení deformací vyžadují zvláštní pozornost vzhledem k možným parazitním vlivům na sensorické kabely vyvolané upínáním kabelů do sledovaného prostředí i přímými vlivy prostředí, které je třeba omezit. Pro pilotní návrhy instrumentací jsou snímače testovány nejdříve v laboratoři.

UŽITÉ METODY MĚŘENÍ DEFORMACÍ OPTICKÝMI VLÁKNY

Brillouin Optical Time Domain Analysis

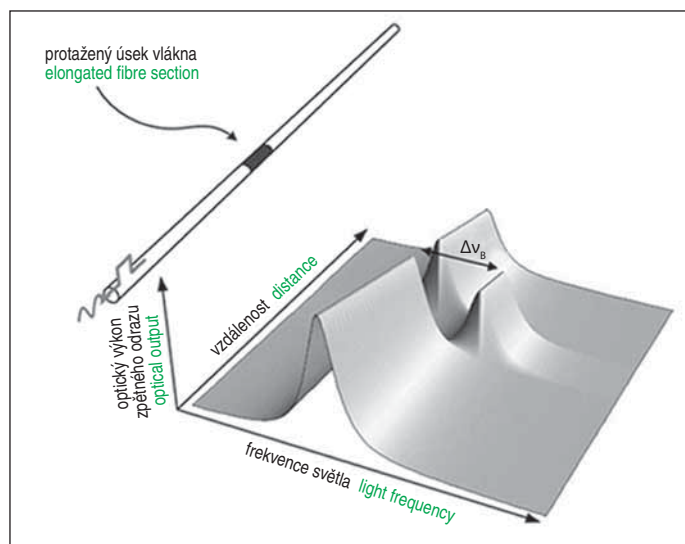
Metoda BOTDA je založena na Brillouinově zpětném rozptylu, který umožňuje tzv. distribuované snímání přetvoření nebo teploty v optickém vlákne. Samotná optická vlákna jsou snímačem. Laserový signál prochází optickým vláknem od zdroje v analyzátoru. K analyzátoru se vrací zpětný rozptyl, který je způsoben velmi malými nehomogenitami v chemickém složení optického vlákna a je řádově slabší než optický signál procházející vláknem ve směru od zdroje. Brillouinův rozptyl je charakterizován Brillouinovou frekvencí η_B . Její změna (posun) je přímo úměrná/y změně přetvoření nebo teploty měřicího optického vlákna. Umístění změny deformace nebo teploty na měřicím vlákně je analyzátozem určeno z časového posunu vstupu signálu do vlákna a návratu jeho odrazu. Princip měření je znázorněn na schématu v obr. 1.

Tato metoda umožňuje detekovat změny přetvoření nebo teploty a zároveň určit místo, kde k příslušné změně došlo. Je to nejvýznamnější výhoda oproti „klasickým“ postupům geotechnického kontrolního sledování, kdy je ve většině případů nutné před instrumentací poměrně přesně předpovědět, kde bude docházet k deformacím, a právě tato místa vystrojit vhodnými měřidly pro geotechnický monitoring.

Měřicí linie může dosahovat až kilometrových délek. V závislosti na délce linie se mění parametry měření: prostorové rozlišení, tedy vzdálenost mezi jednotlivými proměřovanými body, a rozlišení změny přetvoření nebo teploty.

Fiber Bragg Gratings

Bragg grating, „braggovská mřížka“, je periodická změna indexu lomu jádra optického vlákna. Mřížka daných vlastností se v optickém vlákně vytvoří při výrobě. Při průchodu širokopásmového záření (světla) optickým vláknem dochází na braggovské mřížce



Obr. 1 Schéma principu měření metodou BOTDA, podle [1]
Fig. 1 Diagram of the BOTDA method measurement principle, according to [1]

in the sensing fibre to keep its mechanical stability. Methods for determination of the position of the installed fibres for the interpretation of measured data and evaluation of deformations of the monitored massif, structural elements and geotechnical structures as a whole are another part of optical fibre instrumentations.

Data processing and strain determining procedures require special attention with respect to possible spurious effects on sensing cables induced by fixing the cables into the monitored environment and direct influences of the environment, which need to be reduced. The sensors are first tested for the purpose of pilot designs for instrumentations in a laboratory.

METHODS USED FOR STRAIN MEASUREMENT WITH OPTICAL FIBRES

Brillouin Optical Time Domain Analysis

The BOTDA method is based on the Brillouin backscattering applied for the so-called distributed sensing of strain or temperature in the optical fibre. The optical fibres themselves form the sensors. The laser signal passes through the optical fibre from the source in the analyser. The backscatter, which is caused by very small inhomogeneities in the chemical composition of the optical fibre, is weaker in an order of magnitude than the optical signal passing through the fibre in the direction from the source. The Brillouin scattering is characterised by Brillouin frequency η_B . Its change (frequency shift) is directly proportioned to the change of strain or temperature of the measuring optical fibre. The position of the change of the strain or the temperature on the measuring fibre is determined by the analyser from the time delay between the entry of the light pulse into the fibre and the return of its reflection. The measurement principle is demonstrated in the diagram in Fig. 1.

This method allows detections of changes of strain or temperature and, at the same time, determination of the location where the particular change took place. This is the most significant advantage over “classic” geotechnical monitoring procedures, where it is in most cases necessary to predict relatively exactly where deformations will take place before instrumentation and to equip these locations with gauges suitable for geotechnical monitoring.

The measurement line may reach even the lengths of kilometres. Measurement parameters vary depending on the length of the line: spatial resolution, i.e. the distance between individual measured points and determination of the change of the strain or the temperature.

Fibre Bragg Gratings

Bragg grating is a periodic change of the refraction index of the optical fibre core. The grating with the particular properties is created during the fibre production. As broadband radiation (light) passes through the optical fibre, a narrow portion of the spectrum is reflected at the Bragg grating back to the source. The reflected radiation is defined by Bragg wave length λ_B (see Fig. 2). The λ_B change is proportional to axial deformation of the optical fibre or its temperature change.

Every FBG sensor is defined by λ_B wave length as the fibre was manufactured. Sensors with various wave lengths can be “connected” in series (in a chain), because the passing signal, therefore also reflections from individual sensors, can be further used. Parallel connection of sensors and use of optical switch in the FBG analyser is also possible. Combination of serial and parallel connection is available as well.

The FBG method offers higher deformation resolution than the distributed sensing method, BOTDA. Regarding the geotechnical

k odrazu úzké části spektra zpět ke zdroji. Odražené záření je charakterizováno braggovskou vlnovou délkou λ_B (obr. 2). Změna λ_B je přímo úměrná osové deformaci optického vlákna nebo změně jeho teploty.

Každý snímač FBG je definován vlnovou délkou λ_B z výroby. Snímače s různými vlnovými délkami mohou být zapojeny v sérii za sebou (v řetězci), protože procházející signál, a tedy i odrazy z jednotlivých snímačů, lze dále využít. Možné je i paralelní zapojení snímačů přes optický přepínač v analyzátoru FBG a kombinace obou způsobů.

Metoda FBG má oproti distribuovanému snímání BOTDA vyšší rozlišení měřené deformace. Z hlediska provádění geotechnických instrumentací je délka řetězců snímačů omezena na cca 15 až 20 m kvůli manipulaci s optickými vlákny bez dodatečné ochrany při výrobě měřidel (např. řetězec snímačů deformací pro vystrojení monitorovacího vrtu).

Nejdůležitějšími výhodami metod BOTDA i FBG jsou:

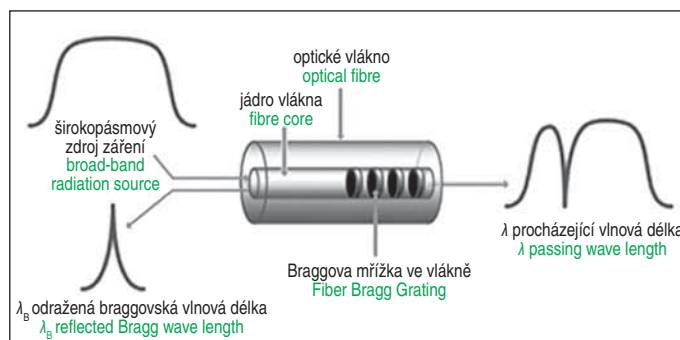
- imunita měřících linií vůči elektromagnetickým polím a částečně i proti radiaci;
- měřící linie jsou vhodné i do prostředí s nebezpečím výbuchu;
- pro přenos měřicího signálu z místa měření k elektronickému analyzátoru se využívá běžných optických telekomunikačních kabelů;
- analyzátor může být až v kilometrové vzdálenosti od sledované lokality;
- při provádění měření není třeba přístup měřiče k sledované oblasti;
- přechod od „manuálního“ (etapového) měření ke kontinuálnímu monitoringu nevyžaduje změny instrumentace.

Nevýhody:

- doposud vysoká pořizovací cena analyzátorů;
- choulostivost optických vláken bez dodatečné ochrany;
- značná citlivost na změny teploty;
- elastická deformace (protažení) optického vlákna v řádu prvních jednotek procent.

DISTRIBUOVANÉ MĚŘENÍ DEFORMACÍ PRIMÁRNÍHO OSTĚNÍ TUNELU NA PRODLOUŽENÍ LINKY A PRAŽSKÉHO METRA

V roce 2011 byla provedena pilotní instrumentace a měření pomocí optických kabelů pro detekci deformací metodou BOTDA ve středním tunelu na stavbě prodloužení linky A metra. Primární ostění středního tunelu před stanicí Petřiny bylo dokončeno a v těsné blízkosti opěří měly postupně procházet dva tunelovací stroje s tlakovou ochranou čelby – zeminové štíty (Earth Pressure Ballance) při ražbě dvojice traťových tunelů vedoucích do stanice Petřiny. Nejmenší vzdálenost hranic teoretických výrubů středního a sousedních traťových tunelů byla 0,68 m. Střední tunel zároveň sloužil jako jediná přístupová cesta pro techniku, odvoz rubaniny i pro transport stavebního materiálu do stanice Petřiny při výstavbě. Instrumentace vláknové optiky probíhala s výjimkou jedné noční směny za provozu. Cílem bylo umožnit detekci deformací primárního ostění středního tunelu, které mohly vzniknout vlivem těsného průchodu zeminových štítů. Na hotové primární ostění byly osazeny dvě podélné měřící linie na levém opěří. První linie byla upevněna bodově pomocí kovových úchytek a druhá byla rychlovažnou cementovou směsí zafixována v předem vyfrézované mělké drážce ve stříkaném betonu. Výsledky měření v obou typech uchycení optického kabelu byly velmi dobře srovnatelné. Z hlediska časové náročnosti a pracnosti instalace je výhodnější bodové uchycení měřicího kabelu. Třetí část měřící linie byla umístěna v příčném profilu středního tunelu



Obr. 2 Schéma principu měření Fiber Bragg Grating [2]

Fig. 2 Diagram of the Fibre Bragg Grating measurement principle [2]

instrumentations, the length of FBG sensor chains is limited to about 15 to 20m because of handling of optical fibres without additional protection during the fabrication sensors (sensor chains for instrumentation of a monitoring borehole).

The most important advantages of the BOTDA and FBG methods are:

- immunity of measurement lines to electromagnetic fields and partly to radiation;
- the measurement lines are suitable for explosive environments;
- common optical telecommunication cables are used for transmission of measurement signal from the monitored structure to the analyser;
- the analyser can be located at kilometre distances from the monitored structure;
- the access of personnel to the monitored structure is not required during the measurement;
- change from “manual” (episode) measurements to continual monitoring does not require changes in the instrumentation.

Disadvantages:

- still high price of analysers;
- optical fibres are fragile without additional protection;
- significant sensitivity to temperature changes;
- elastic deformation (elongation) of the optical fibre within the order of first units of percent.

DISTRIBUTED DEFORMATION MEASUREMENT OF PRIMARY LINING AT THE EXTENSION OF PRAGUE METRO LINE A

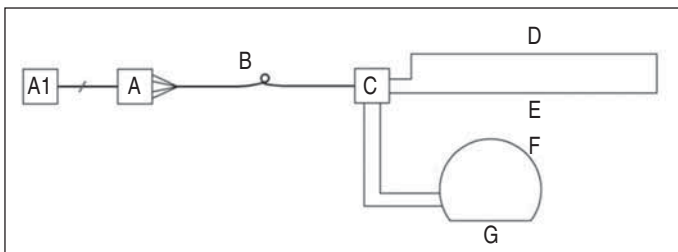
In 2011, pilot instrumentation and measurement with optical cables using the BOTDA method was performed at the central tunnel during construction of the Prague metro Line A extension in order to detect deformations of the primary lining. The primary lining of the central tunnel at front of Petřiny Station was finished and two tunnel boring machines, Earth Pressure Balance Shields (EPBS), were passing after each other in close vicinity of the top heading during the advance of excavation of the pair of track tunnels leading to Petřiny Station. The smallest distance between the limits of the theoretical excavation of the central tunnel and the neighbouring track tunnels was 0.68m. The central tunnel was used during the construction as the only way for construction equipment, mucking out and transport of building materials to Petřiny station. Except one night shift, the instrumentation of the fibre optics was carried out without interruption of the construction operations. The aim was detection of the deformations of the primary lining of the central tunnel which could be induced due to the close passage of the EPBS. Two longitudinal measurement lines were installed on the completed primary lining at the left-hand bench. The first

před rozfáráním stanice Petřiny. V počvě byl optický kabel rovněž zacementován rychlovažnou směsí do vyfrézované drážky. Podmínky pro instalaci byly ztíženy, při cementaci musela být voda z drážky vypuzována stlačeným vzduchem. Ihned po dokončení byla zacementovaná měřicí linie pojížděna stavební technikou. V opěří a v kalotě byl příčný měřicí profil upevněn opět pomocí bodových úchytek. V příčném profilu bylo, obdobně jako u podélných linií, cílem detekovat případné deformace vyvolané ražbou sousedních traťových tunelů.



Obr. 3 Instalace měřicího kabelu BOTDA na primární ostění středního tunelu před stanicí Petřiny; červená šipka značí měřicí linii v příčném profilu, zelená vedení kabelu k optickému rozvaděči

Fig. 3 Installation of a BOTDA measurement cable on primary lining of the central tunnel before Petřiny Station; red arrow marks the measurement line in the cross-section, green arrow marks the cable line leading to the optical switchboard



Obr. 4 Schéma optické trasy ve středním tunelu: A – analyzátor BOTDA, A1 – síťové připojení k analyzátoru pomocí vzdálené plochy, B – pasivní optický kabel, C – optický rozvaděč na ostění tunelu, D a E – podélné měřicí linie, D – uchycená bodově k ostění v sériovém propojení s linií spojitě upevněnou pod povrchem ostění – E, F – bodově upnutá část příčného profilu nad opěřím a v kalotě tunelu v sérii se spojitě upnutou linií pod povrchem pojížděné počvy – G [3]

Fig. 4 Diagram of the optical line in the central tunnel: A – BOTDA analyser, A1 – network connection of the analyser by means of a remote desktop, B – passive optical cable, C – optical switchboard on tunnel lining, D and E – longitudinal measurement lines, D – fixed point-wise to the lining, connected in series with the line fixed continuously under the lining surface – E, F – part of the cross-section above the bench fixed point-wise and in the tunnel top heading in series with the continuously fixed line under the ridden-on bottom – G [3]

line was fixed point-wise using metal clamps and the other was fixed in a pre-cut shallow groove in the shotcrete with fast-setting mortar. The results of measurements of both types of fixing of the optical cable were very well comparable. Regarding the need of time and manpower for instrumentation, the point-wise fixation of measurement cable is more favourable. The third part of the measurement line was installed in the the central tunnel cross-section at front of the widening of the tunnel profile for the Petřiny Station. The optical cable in the tunnel invert was also fixed by the fast-setting cement mixture in a pre-cut groove. The installation conditions were more difficult because water had to be blown from the groove with compressed air. The construction machines drove over the measurement line immediately after its completion. In the bench and top heading, the measurement cross-section was fixed point-wise with clamps. Similarly to the longitudinal lines, the objective in the cross-section was to detect possible deformations induced by the excavation of the neighbouring track tunnels.

It was not the case of measuring convergences since, with the chosen additional installation on the finished lining, only circumferential length changes on the external surface of the lining were measured by the optical cable. The BOTDA analyser was placed on the surface, in the construction site facility (see Figures 3 and 4). It was connected to the measuring line by a common telecommunications cable leading in parallel with other networks in the benches of the tunnel and the access gallery. During the course of the measurements, during approx. 9 months, the connection optical cable was interrupted twice and longitudinal measurement lines were broken twice due to the construction activities. All damages were successfully repaired. “Extraction” of the part of the measurement cable, which was cemented in the groove, without causing more damages, was the most difficult operation. The interrupted cable was then successfully bridged over. During repairs of the interrupted optical lines, individual optical fibres were spliced (welded) in the environment of the tunnel used as transport and access gallery during the construction of Petřiny Station.

The results of the BOTDA measurements were compared with output of common geodetic deformation monitoring of primary lining (mainly the longitudinal component of convergence monitoring with the use of spatial polar method). During the advance of the of the EPBS in the left track tunnel, the maximum deformation change detected in longitudinal measurement lines reached up to $400\mu\epsilon$ (microstrain), example of evaluation is presented in Fig. 5. This corresponds with the value of $400\mu\text{m/m}$ in the case of the point-wise fixed optical cable. The geodetic monitoring showed deformations smaller than the method accuracy of 2 mm. The detected deformations of the primary lining were most probably developed at the transverse day joints between individual sections of spraying of primary lining concrete. The deformation changes measured at the cross-section measurement profile during the advance of the right-hand track tunnel face reached up to $\pm 100\mu\text{m/m}$. The values of deformations in longitudinal measurement lines (in the left-hand bench) were within the interval of $\pm 50\mu\text{m/m}$. Experimental standard deviation of the optical fibre measurements under the given conditions reached $30\mu\epsilon$. More detailed information about the BOTDA measurements in the central tunnel is presented in [3].

DEVELOPMENT OF FBG PRIMARY LINING DEFORMATION SENSOR

The possibility of automation of underground structure's primary lining convergence measurements and the use of fibre

Nejednalo se o měření konvergence, protože při zvolené dodatečné instalaci na hotové ostění byly optickým kabelem měřeny obvodové délkové změny pouze na vnějším líci ostění. Analyzátor BOTDA byl umístěn na povrchu v zařízení staveniště (obr. 3, 4). S měřicími linií byl propojen běžným telekomunikačním kabelem vedeným souběžně s dalšími sítěmi na opěři tunelu a přístupové štolý. V průběhu měření došlo během cca 9 měsíců k dvojnásobnému přerušení přírodního optického kabelu a k dvěma porušením podélných měřících linií vlivem provozu nebo stavební činnosti. Všechna poškození se podařilo opravit. Nejsložitější bylo „vyjmutí“ části měřícího kabelu ze zacementované drážky tak, aby mohla být přemostěna jeho poškozená část a nedošlo k dalším poškozením. Při opravách optických tras byla jednotlivá optická vlákna svářena v prostředí provozovaného tunelu během stavby.

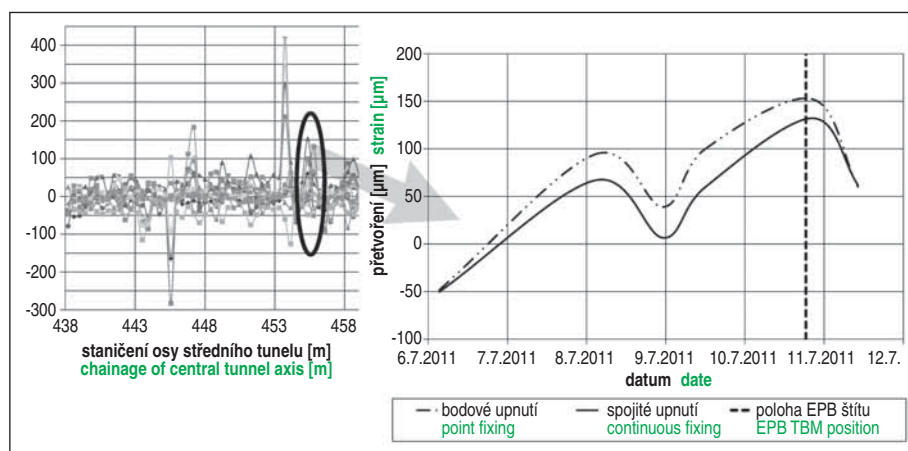
Výsledky měření metodou BOTDA byly porovnávány s výstupy obvyklých geodetických měření deformací výrubu (zejména podélná složka posunu z konvergenčních měření prostorovou polární metodou). Během ražby levého traťového tunelu zeminovým štítem dosáhla maximální změna přetvoření detekovaná v podélných měřících liniích až 400 μe (microstrain), což v případě bodově upínané linie odpovídá velikosti deformace 400 $\mu\text{m/m}$, příklad vyhodnocení části měření je uveden v obr. 5. Výsledky srovnávacích geodetických měření vykazovaly deformace menší, než je přesnost metody 2 mm. Detekované deformace vznikaly s největší pravděpodobností na příčných pracovních spárách jednotlivých záběrů stříkaného betonu primárního ostění. Během ražby pravého traťového tunelu dosahovaly změny přetvoření změřené v příčném profilu hodnot do $\pm 100 \mu\text{m/m}$. Hodnoty přetvoření v podélných měřících liniích (na levém opěři) se pohybovaly v intervalu $\pm 50 \mu\text{m/m}$. Výběrová směrodatná odchylka optovláknových měření v daných podmínkách byla 30 μe . Podrobnější informace o měření BOTDA ve středním tunelu jsou uvedeny v [3].

VÝVOJ FBG MĚŘIDLA DEFORMACÍ PRIMÁRNÍHO OSTĚNÍ

Častou otázkou je možnost automatizace konvergenčních měření primárního ostění podzemních staveb a využití vláknové optiky. Většina měření deformací optickými vlákny (metodami BOTDA, FBG i dalšími) spočívá v měření odezvy na protažení vlákna podél jeho osy. Pokud je v příčném profilu výrubu osazeno jen jedno měřící optické vlákno (obr. 4), měří se délkové změny po obvodu daného profilu. Bez dalších znalostí, nebo zjednodušujících předpokladů,

optics is a subject of frequent questions. Most strain measurements with optical fibres (the BOTDA, FBG and other methods) are based on axial strain measurement at the fibre axis. If only a single measurement optical fibre is installed in the cross-section of excavation (see Fig. 4), changes in length are measured along the perimeter of the particular profile. Without further input information or simplifying assumptions, this measurement does not provide information about radial strain. When a pair of optical fibres is installed in the cross-section, it is possible to calculate the “flexure line” of the primary lining.

When the monitoring of underground structures is designed, the deployment of convergence monitoring profiles is mostly determined in advance with the use of information gained also within the geotechnical investigation. High resolution of fibre optic measurements in order of $\mu\text{m/m}$ is required for convergence monitoring. Changes in the shape of primary lining center line can be computed from pairs of strain changes at the outer and inner surface of the primary lining. Vertical and horizontal deformations of the center line can be subsequently computed at chosen points. These requirements are very well met by measurements with the use of the Bragg gratings. One of the objectives of the R&D project FW01010384 project “Development of fibre optic measurement instruments for underground constructions and retaining structures” is to develop chain of FBG strain and temperature sensors, which will be installed to primary lining reinforcement frames (e.g. “Bretex”) in advance, prior to the assembly of the whole reinforcement frame at the tunnel face. The newly developed monitoring of primary lining deformations with the use of FBG sensors can begin immediately after the reinforcement frame (excavation support) is assembled and fixed in place by the first shotcrete layer. The sensors will be designed so that it will be possible to shape them during assembly according to the curvature of primary lining reinforcement frames. The development of the FBG primary lining deformation sensor has started in 2020. In the presented applications, the optical fibres (or cables) were installed to perform measurement in a series of straight sections, for example between clamps. At the beginning of the research, it was necessary to determine the influence of friction of the curved optical fibre in the micro-tube (a component of its additional protection) on the measured values of the axial strain. For this purpose, a “cradling” was developed. A chain of FBG sensors is led as follows: clamp – arc – horizontal section – arc – clamp. The cradling is fixed to a test bench equipped with high precision potentiometric displacement sensors including independent temperature measurement. The optical fibre is strained under controlled conditions. A 3D model was created and the components of cradling as well as other smaller tools for the installation of optical fibres were manufactured by 3D printing (see Fig. 6). The size of the cradling components was limited by the maximum dimensions of 3D print with the use of printer available in inventory of the Department of Geotechnics of the Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University in Prague. Nevertheless, the arc radius of about 1m was achieved. The radii of a commonly monitored primary lining will be greater.



Obr. 5 Vývoj přetvoření v podélné měřící linii v levém opěři: vlevo vybrané výstupy z analyzátoru BOTDA, vpravo časový průběh deformace ve vyznačeném staničení osy středního tunelu; čárkovaná svislá čára značí, kdy dosáhla řezná hlava štítu S609 sledovaného staničení [3]

Fig. 5 Development of deformation on the longitudinal measurement line in the left-hand bench: selected outputs from the BOTDA analyser on the left side, development of deformation with time in the set-off chainage of the central tunnel axis; the dashed vertical line marks where the cutterhead of the S609 reached the monitored chainage [3]

The results of model measurements in the laboratory show that, with appropriate selection of additional protection of the

The results of model measurements in the laboratory show that, with appropriate selection of additional protection of the



Obr. 6 Ramenáť pro laboratorní testování zakřivených snímačů deformace
Fig. 6 A cradling for laboratory testing of curved sensors of deformations

neposkytuje takové měření informace o příčných deformacích. Je-li v příčném profilu osazena dvojice optických vláken, lze vypočítat „ohybovou čáru“ vystrojeného profilu.

Při návrhu monitoringu podzemních staveb jsou na základě geotechnického průzkumu v návrhu podzemního díla většinou předem určena místa sledování konvergence. Při použití vláknové optiky je nutné měření s vysokým rozlišením v řádu $\mu\text{m}/\text{m}$. Z dílčích délkových změn na obvodě vnitřního a vnějšího líce ostění je třeba vypočítat změny tvaru jeho střednice a pro zvolené body svislé a vodorovné deformace v příčném směru. Těmto požadavkům velmi dobře vyhovuje měření pomocí braggovských mřížek. Jedním z cílů projektu FW01010384 „Vývoj optovláknových měřidel pro podzemní a opěrné konstrukce“ je vývoj řetězce měřidel přetvoření a teploty FBG, který bude předem, mimo výrub, osazen na montážní díly ocelových příhradových rámu (např. „bretex“). Nově navrhované kontrolní sledování s využitím FBG snímačů tak bude možné zahájit ihned po osazení výztuže a jejího upnutí nástřikem první vrstvy stříkaného betonu. Snímače budou konstruovány tak, aby je bylo možné při montáži tvarovat podle zakřivení montážních dílů výztužného rámu. Vývoj tvarovatelného snímače byl zahájen v roce 2020. V prezentovaných aplikacích byla optická vlákna (nebo kabely) osazena tak, že měřila v sérii přímých úseků, například mezi úchytkami. V úvodu výzkumu bylo nutné zjistit vliv tření zakřiveného optického vlákna v mikrotrubičce (součást jeho dodatečné ochrany) na měřené hodnoty délkového přetvoření. Za tím účelem byl vyvinut „ramenáť“, ve kterém je řetězec FBG snímačů veden následovně: úchytka – oblouk – vodorovný úsek – oblouk – úchytka. Ramenáť je upevněn na měřicí stoličce vybavené velmi přesnými potenciometrickými snímači posunu včetně nezávislého měření teploty. Optické vlákno je řízeně protahováno. Z ideových návrhů ramenáťu byl sestaven 3D model. Jednotlivé díly i další drobné pomůcky pro instalaci byly vyrobeny 3D tiskem (obr. 6). Velikost jednotlivých částí ramenáťu je omezena maximálními rozměry 3D tisku na tiskárně v inventáři katedry geotechniky Stavební fakulty ČVUT v Praze. Přesto byl dosažen poloměr oblouku cca 1 m. Poloměry běžně sledovaného skutečného primárního ostění budou větší.

Z výsledků modelových měření v laboratoři vyplývá, že při vhodné volbě dodatečné ochrany optického vlákna je vliv jeho zakřivení na měření přetvoření zanedbatelný. Dalšími kroky je vývoj připevnění tvarovatelných snímačů na výztužné rámy a způsob jejich propojení na místě montáže výztužných rámu do výrubu.

NIVELACE PRO SLEDOVÁNÍ VÝVOJE DIFERENČNÍHO SEDÁNÍ NAVÁZANÁ NA MONITOROVACÍ VRTY

V projektu „Zhodnocení stabilitního a stavebně-technického stavu Broumovské skupiny kostelů a návrh opatření k zachování tohoto jedinečného evropského kulturního dědictví“ je využíván systém podpory monitoringu diferenčního sedání pomocí instrumentovaných vrtů pro velmi přesná 3D sledování deformací podloží

optical fibres, the influence of its curvature on measured strain is negligible. The next steps are development of fasteners of the FBG sensors to the reinforcement frames and methods of their connection after installation of the assembled reinforcement frames near the actual tunnel face.

LEVELLING FOR MONITORING OF DEVELOPMENT OF DIFFERENTIAL SETTLEMENT RELATED TO MONITORING BOREHOLES

A system of support of monitoring of differential settlement in the project “Evaluation of stability and technical conditions of the Broumov group of churches and proposal of remediation of this unique Europe culture heritage” is based on instrumented boreholes for very accurate 3D monitoring of deformations of the subsoil and foundation structures. The system of reference points based on instrumented boreholes and the technique of link to surveying was developed in projects of long-term monitoring of historic buildings in the Prague Castle area [4] and is used in the local survey network covering the entire area. The boreholes for stabilisation of the reference points of the local survey network of precise levelling are located in the monitored buildings usually in places where indications of differential settlement are observed or where it is necessary to investigate the technical conditions of foundation structures and the subsoil [5]. Measurements with a sliding micrometer are carried out manually in selected time intervals simultaneously with surveying.

To a lesser extent, the system of monitoring of the differential settlement is used for the Broumov group of churches. Within the framework of further development of optical fibre sensors, measurement casings for very accurate 3D monitoring of deformations were equipped by FBG sensors connected to measuring marks of the sliding micrometer outside the measurement casing using a system of small anchors [5]. This measurement casing with added FBG sensors allows continual monitoring of the development of axial deformations, as well as possible linking to the system of warning stages depending on the development of axial deformations in the subsoil. In the presented case, the warning system is not necessary since the development of deformations is very slow. The connection of the FBGuard analyser to the GSM module enables continual monitoring even from remote places, such as churches of the Broumov group are.

There are cracks in the vault under the choir with organ in the Church of All Saints (Kostel Všech Svatých) in Heřmánkovice in the Náchod Region. The boreholes for the subsoil investigation and foundation of reference points were located on the external sides of the vault buttresses (see Figures 7 and 8). (Levelling marks on the perimeter of the church are not presented in Fig. 7). A pair of boreholes with combined casing for very accurate 3D monitoring of deformations, complemented by a series of FBG sensors, passes through extension of foundations to the subgrade. Each borehole toe is embedded in underlying sandstone at the depth of about 12m under the surface of the extension of the footing and is considered to be fixed. Insert tool into the top of each measuring casing forms reference point of the levelling system [5]. Vertical displacements of the tops of the measuring casings in BH1 and BH2 boreholes, in this case measured by the sliding micrometer and optical fibre sensors, are reported to a group of surveyors and taken into account in the assessment of the levelling around the church.

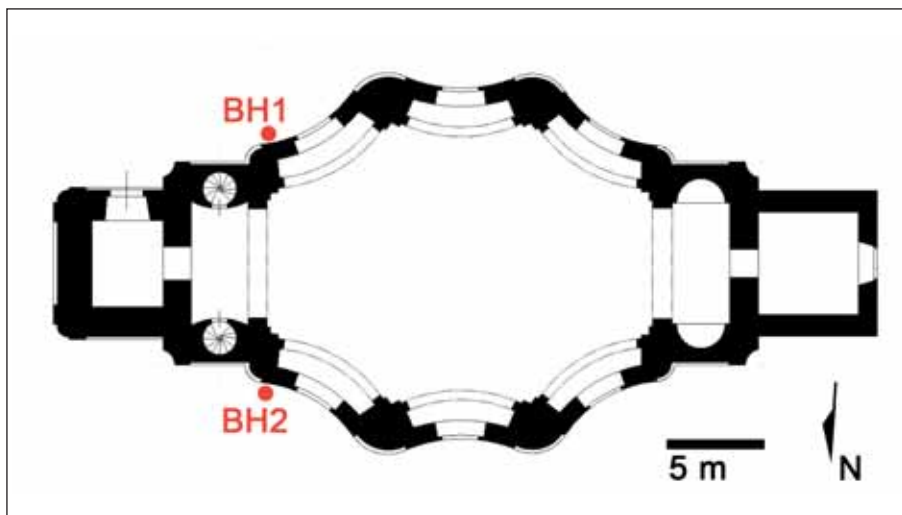
a základových konstrukcí. Systém vztažných bodů tvořených vystrojenými vrty a způsob napojení na geodetická sledování byl vyvinut v projektech dlouhodobého sledování historických objektů areálu Pražského hradu [4] a je užíván v místní geodetické síti, která pokrývá celý areál. Vrtý pro zajištění vztažných bodů místního systému přesné nivelace jsou situovány ve sledovaných objektech zpravidla tam, kde jsou pozorovány projevy diferenčního sedání, nebo kde je třeba stav základových konstrukcí a podloží prozkoumat [5]. Měření klouzavým mikrometrem jsou prováděna ručně ve zvolených časových intervalech souběžně s geodetickým sledováním.

V menším rozsahu je systém sledování diferenčního sedání užíván pro broumovskou skupinu kostelů. V rámci dalšího vývoje optovláknových snímačů byly měřicí pažnice pro velmi přesná 3D sledování deformací doplněny o FBG snímače připojené na měřické značky klouzavého mikrometru vně měřicí pažnice pomocí systému kotviček [5]. Tato měřicí výstroj s přidanými snímači FBG umožňuje kontinuální sledování vývoje osových deformací i případné napojení na systém varovných stavů v závislosti na vývoji osových deformací v podloží stavby. V uváděném případě není varovný systém třeba, neboť se jedná o velmi pomalý vývoj deformací. Napojení analyzátoru FBGuard na modul GSM umožňuje kontinuální sledování i z odlehklých míst, jako jsou kostely broumovské skupiny.

Kostel Všechných svatých v Heřmánkovicích v náhodském okrese vykazuje trhliny v klenbě pod kůrem s varhany, a proto byly vrty pro průzkum a zajištění vztažných bodů umístěny na vnější stranu opěr klenby (obr. 7, 8). (V obr. 7 nejsou zobrazeny niveláčnické značky na vnějším obvodu kostela.) Dvojice vrtů s kombinovanou výstrojí pro velmi přesná 3D sledování deformací, doplněná o sérii snímačů FBG, prochází přes rozšíření základů do podloží. Paty vrtů jsou vetknuty v podložních pískovcích v hloubce cca 12 m pod povrchem základových pasů a jsou považovány za pevné. Vložky do zhlaví vrtů tvoří vztažné body niveláčnického systému [5]. Svislé posuny zhlaví vrtů BH1 a BH2, v tomto případě stanovené pomocí klouzavého mikrometru a optovláknovými senzory, jsou předávány skupině geodetů a započteny při vyhodnocení nivelace obvodu kostela.

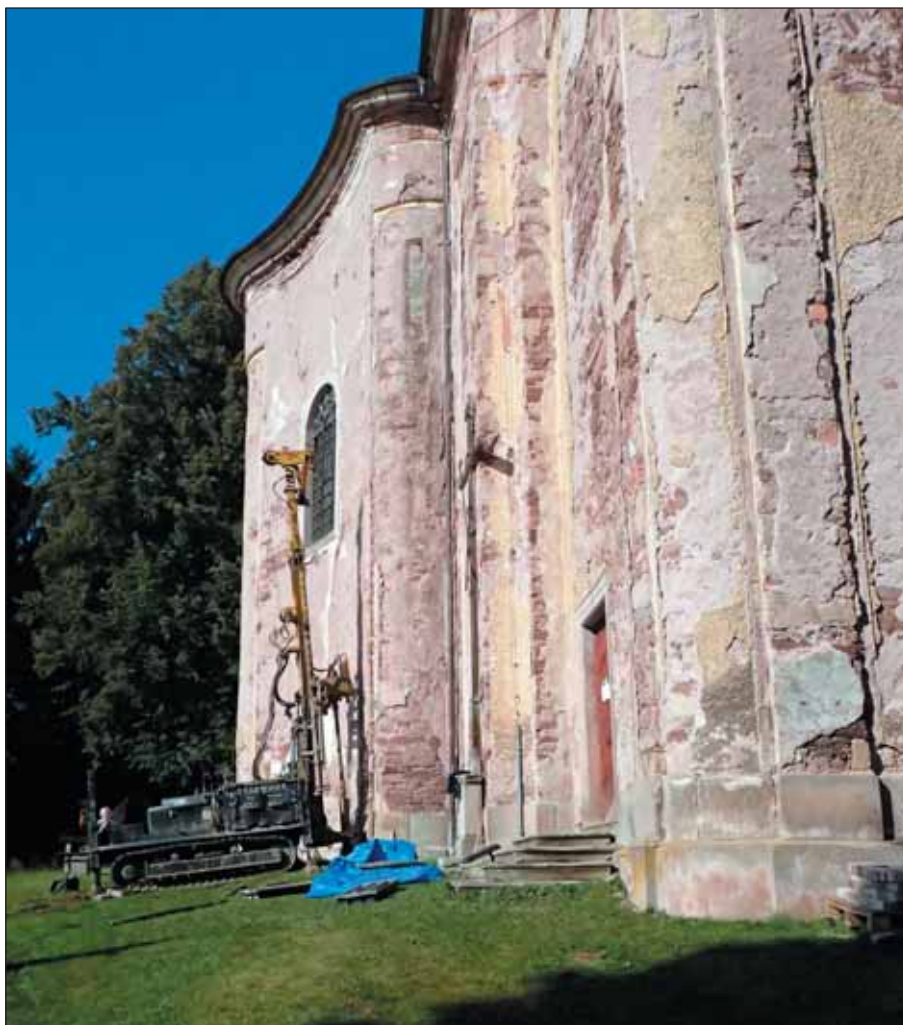
Optovláknové senzory jsou napojeny na analyzátor FBGuard s modulem GSM ve věži kostela. Příklady výsledků měření optovláknovými senzory ve vrtu BH2 jsou zobrazeny v závislosti na čase v obr. 9.

V době vývoje optovláknových měřicích prvků nebyly na trhu cenově přijatelné robustní teplotní senzory FBG, a proto nebyly při vystrojování vrtů osazeny. V obr. 9 je dobře patrný vliv teploty. S rostoucí hloubkou senzorů deformace její vliv podle



Obr. 7 Kostel Všechných svatých v Heřmánkovicích a vztažné body ve vrtech BH1 a BH2 [5]

Fig. 7 The Church of All Saints (Kostel Všechných Svatých) in Heřmánkovic and reference points in BH1 and BH2 boreholes [5]

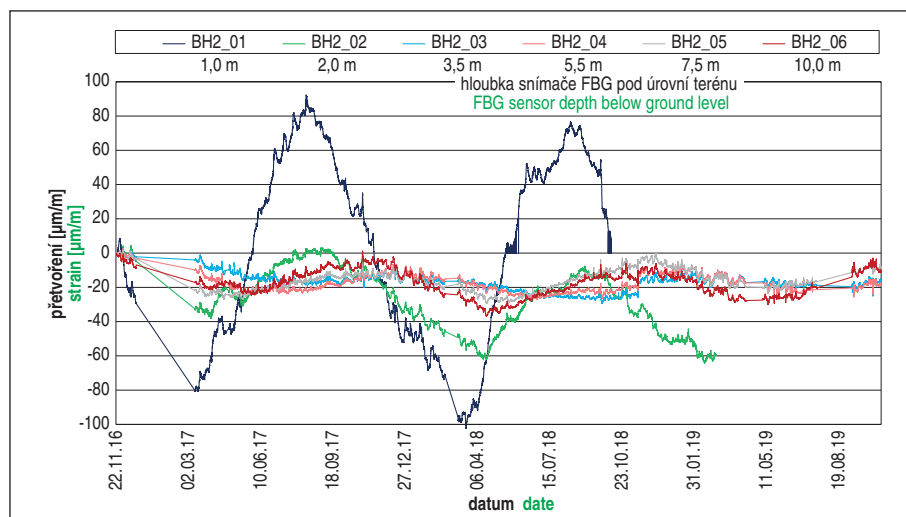


Obr. 8 Vrt BH1 vrtaný přes rozšíření základového zdiva na jižní straně kostela

Fig. 8 BH1 borehole carried out across the enlargement of the foundation masonry on the southern side of the church

The optical fibre sensors are connected to the FBGuard analyser with the GSM module in the church tower. Examples of results of measurements using optical fibre sensors in BH2 borehole are related to time and presented in Fig. 9.

At the time of the development of the optical fibre measurement, affordable robust FBG temperature sensors were not available



Obr. 9 Osové deformace ve vrtu BH2 sledované FBG senzory v závislosti na čase [5]
Fig. 9 Time depending axial deformations in BH2 borehole monitored by FBG sensors [5]

předpokladů klesá. Vrt BH2 je na severní straně kostela, která je přivrácená ke svahu. Základy a podloží jsou zde prakticky vodou nasycené, a proto je v důsledku vyšší tepelné vodivosti prostředí hloubka ovlivnění měřených hodnot deformací teplotou velká. Vyhodnocené svislé posuny jsou velmi malé a je zřejmé, že k patrným vývojovým trendům deformací nedochází. Průběhy jsou cyklické. Toto potvrzují i měření klouzavým mikrometrem, který je dobře teplotně kompenzován. Za uvedené období sledování byly hodnoty svislých posunů v úrovni zhlaví výstroje do velikosti $\pm 0,15$ mm.

Teplotní kompenzace optovláknových měření by v uvedeném případě znamenala osazení senzorů ve dvojicích (vždy deformační a teplotní) vzhledem k teplotnímu spádu k patě výstroje a teplotní setrvačnosti prostředí při změnách teploty. Cena instrumentace s teplotní kompenzací se mírně zvýší vzhledem k nízké ceně vhodných teplotních snímačů FBG s odolnými připojovacími kabely, které jsou dnes na trhu standardně dostupné.

Systém sledování diferenčního sedání tak, jak je provozován v případě vybraných broumovských kostelů, je možné užívat i pro sledování sedání objektů v rozsahu poklesové kotliny při ražbě tunelů. Při ražbě v extravilánu není obvykle třeba vysoké přesnosti měření ani vysoké četnosti. Jedná-li se o sledování poklesů při ražbě tunelů pod městskou zástavbou, je nutná zpravidla vysoká přesnost i četnost měření. Zde by mohla kontinuální měření sedání pomocí snímačů FBG ve vystrojených vrtech signalizovat bez prodlevy významnější vývoj svislých deformací a potřebu kratších intervalů sledování vývoje poklesové kotliny a vyvolaných nerovnoměrných deformací přesnou nivelací.

Volba polohy vztažných bodů systému nivelace pro sledování vývoje poklesové kotliny je třeba provést na základě inženýrsko-geologického průzkumu a předpokladů o vývoji poklesové kotliny.

ZÁVĚR

Optovláknové snímače umožňují sledování vývoje deformací i v prostředích, která vykazují nepřijatelné rušivé vlivy pro elektromechanické snímače v důsledku například vysokého procenta vyztužení železobetonových konstrukcí, přítomnosti silových vedení elektrické energie apod. Metoda distribuovaného snímání změn deformace a teploty BOTDA je vhodná pro úlohy kontrolního sledování, kde je obtížné předem odhadnout místa vzniku a rozvoje deformací. Měřicí linie mohou dosahovat až kilometrových délek. Pilotní instrumentace a měření byly úspěšně provedeny ve

on the market and, for that reason, they were not installed during the installation of measurement casings in the boreholes. The influence of temperature is well obvious in Fig. 9. As expected, it decreases with the increasing depth of sensors. BH2 borehole is on the northern side of the church, which is facing the slope. The foundations and the subsoil on this side of the church are almost saturated with water, therefore, as a result of higher thermal conductivity of the environment, the depth of the influence on measured values of deformations by temperature is significant. The vertical displacements being assessed are very small and it is obvious that development trends of deformations do not take place. The courses are cyclic. This fact is even confirmed by measurements by the sliding micrometer, which is well temperature compensated.

During the monitoring period, the values of vertical displacement at the level of the top of the monitoring casing were less than $\pm 0,15$ mm.

Thermal compensation of the optical fibre measurements would mean in the presented case that pairs of sensors (a deformation sensor and a thermal sensor) would be installed with respect to the temperature gradient toward the casing toe and the thermal inertia when temperature changes. The cost of the instrumentation with thermal compensation will increase only slightly with respect to the low price of suitable FBG thermal sensors with armoured fibre optic cables, which are available as standard on the market today.

The system of monitoring of differential settlement, as it has been operated in the case of the selected Broumov churches, can be used even for monitoring of settlement of buildings within the settlement trough during excavation of tunnels. In the case of driving tunnels in non-build-up areas, neither high accuracy of measurements nor high frequency is usually necessary. If it is the case of monitoring of subsidence during excavation of tunnels under urban development, high accuracy and frequency of measurements is usually necessary. Here the continual measurements using FBG sensors in cased boreholes could signal without delay the more significant development of vertical deformations and the need for shorter intervals for monitoring of the development of the settlement trough and induced differential settlement measured by precise levelling.

The selection of reference points of the levelling system for monitoring of the development of the settlement trough should be carried out based on engineering geological site investigation and assumptions about the settlement trough development.

CONCLUSION

Optical fibre sensors enable monitoring of the development of deformations even in environments exhibiting unacceptable noise disturbing measurements with use of electromechanical sensors resulting, for example, from high percentage of reinforcement of reinforced concrete, the presence of power lines etc. The BOTDA method for distributed strain and temperature sensing is appropriate for monitoring, where it is difficult to estimate the locations of origin and development of deformations. The measurement lines may reach even kilometre lengths. Pilot instrumentations and measurements were successfully carried out in the central tunnel of

středním tunelu prodlužované linky A pražského metra před stanicí Petřiny v roce 2011.

Při návrhu snímačů a systémů sledování na základě FBG, neboli optických mřížek vytvořených při výrobě senzorických vláken, je nutné zajištění jejich dostatečné ochrany pro instalace do prostředí staveb a geotechnických konstrukcí. Návrhy systémů snímačů jsou do značné míry individuální pro různé účely sledování. Vzhledem k citlivosti snímačů na teplotu je nutná jejich teplotní kompenzace pro prostředí se změnami teplot nebo s teplotními spády. V současnosti je na trhu dostatečný výběr teplotních snímačů FBG, které lze při návrhu systému použít společně se snímači deformace a vyrovnat se s teplotními vlivy.

Autoři vyvíjejí i snímače, které bude možné použít do obloukových konstrukcí a při instalaci je tvarovat podle vnějšího a vnitřního líce konstrukce. Z deformací měřených u okrajů průřezu budou vyhodnoceny změny tvaru konstrukce nebo jejích prvků.

Poděkování

V příspěvku jsou využity vybrané výstupy z projektů:

- FW01010384 Vývoj optovláknových měřidel pro podzemní stavby a opěrné konstrukce, který je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu TREND;
- „Zhodnocení stabilitního a stavebně-technického stavu Broumovské skupiny kostelů a návrh opatření k zachování tohoto jedinečného evropského kulturního dědictví“ č. DG16P02R049 podpořeného v programu NAKI Ministerstva kultury České republiky. Jedná se o kapitolu „Nivelace pro sledování vývoje diferencního sedání navázaná na monitorovací vrty“.

*Ing. MAREK ZÁLESKÝ, Ph.D.,
marek.zalesky@geotechnika.cz,
SG Geotechnika a.s.,
doc. Ing. JAN ZÁLESKÝ, CSc.,
zalesky@fsv.cvut.cz,
katedra geotechniky,
Stavební fakulta ČVUT v Praze,
Ing. LADISLAV ŠAŠEK, CSc.,
ladislav.sasek@safibra.cz,
SAFIBRA, s.r.o.*

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

extension of the Line A of the Prague metro in front of the Petřiny Station in 2011.

When designing sensors and systems of monitoring of foundations based on the FBG (optical gratings created during production of sensing fibres) it is necessary to provide sufficient resistance for installations into the subsoil and geotechnical structures. Design of sensing systems is to a large extent individual for various monitoring purposes. With respect to the sensitivity of the sensors to temperature, their thermal compensation for environments with changes in temperature or with temperature gradients is necessary. There is currently a sufficient selection of FBG temperature sensors which can be used together with deformation sensors to cope with temperature impacts when designing a system.

The authors develop in addition sensors which can be used in arched structures and be shaped during installation according to the external and internal surfaces of the structure. Changes in the shape of the structure or its elements will be assessed on the base of deformations measured at both edges of the cross-section.

Acknowledgements

Selected outputs of the following projects are used in the paper:

- FW01010384 Development of fibre optic measurement instruments for underground constructions and retaining structures, which is co-funded by the Technology Agency of the Czech Republic within the TREND Program;
- DG16P02R049 Evaluation of stability and technical conditions of the Broumov group of churches and proposal of remediation of this unique Europe culture heritage, supported in the NAKI Program of the Ministry of Culture of the Czech Republic. The chapter “Levelling for monitoring of development of differential settlement related to monitoring boreholes” is in question.

*Ing. MAREK ZÁLESKÝ, Ph.D.,
marek.zalesky@geotechnika.cz,
SG Geotechnika a.s.,
doc. Ing. JAN ZÁLESKÝ, CSc.,
zalesky@fsv.cvut.cz,
katedra geotechniky,
Stavební fakulta ČVUT v Praze,
Ing. LADISLAV ŠAŠEK, CSc.,
ladislav.sasek@safibra.cz,
SAFIBRA, s.r.o.*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] KLAR, A., GOLDFELD, Y. A CHARAS, Z. *Measures for identifying cracks within reinforced concrete beams using BOTDR*. Proceedings of SPIE Volume 7647, Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems 2010, ISBN: 9780819480620, 31 March 2010
- [2] NATIONAL INSTRUMENTS CORPORATION. *Fundamentals of FBG Optical Sensing*. Dostupné na: <http://sine.ni.com/ind-app/app/p/id/app-70/lang/cs> [citováno 2012-09-9], 2012
- [3] ZÁLESKÝ, J., ČÁPOVÁ, K., ZÁLESKÝ, M., BOHÁTKA, J., ŠAŠEK, L. *Detekce deformací primárního ostění středního tunelu stavby Metro V.A vláknovou optikou*. In: Zakládání staveb Brno 2014. Brno: Česká geotechnická společnost Českého svazu stavebních inženýrů, 2014. pp. 137–142. ISBN 978-80-87920-01-5
- [4] PROCHÁZKA, J., JÍŘIKOVSKÝ, T., ZÁLESKÝ, J., SALÁK, J., MÁCA, J. et al. *Stabilita historických objektů*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. 229 s. ISBN 978-80-01-04776-7
- [5] ZÁLESKÝ, J., KOVÁŘOVÁ, K. *Failures on Historical Buildings as a Result of Deterioration of the Foundations and the Subsoil*. In: KOSTELECKÁ, M., ed. *Rehabilitation and Reconstruction of Buildings*. 19th International Conference on Rehabilitation and Reconstruction of Buildings, Praha, Česká republika, 2017-11-23/2017-11-24. Zurich: Trans Tech Publications, 2018. s. 185–190. sv. Vol. 776. ISSN 1013-9826. ISBN 978-3-0357-1361-9. DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.776.185
- [6] ČÁPOVÁ, K. *Use of Optical Fibres for Deformation Monitoring in Geotechnics*. Doktorská dizertační práce. Školitel Záleský, J. katedra geotechniky, Stavební fakulta, České vysoké učení technické v Praze, 2020. 116 s.

FOTOREPORTÁŽ ZE SLAVNOSTNÍHO PRORAŽENÍ NOVÉHO ŽELEZNIČNÍHO TUNELU MEZNO DNE 14. 8. 2020

PICTURE REPORT FROM CEREMONIAL BREAKTHROUGH OF MEZNO RAIL TUNNEL ON 14TH SEPTEMBER 2020

FOTO ARCHIV OHL ŽS, A.S. / PHOTO OHL ŽS, A.S., ARCHIVE



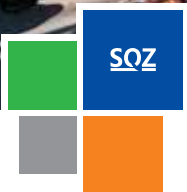


STAVÍME NA ODBORNOSTI

Jsme stavební firma s českým a mezinárodním know-how. Realizujeme technologicky náročné projekty v oblasti pozemního i dopravního stavitelství. Na český a slovenský trh přinášíme nejmodernější technologické postupy v oblastech výstavby, inženýringu i nových smluvních modelů. Zaměřujeme se zejména na ty segmenty trhu, ve kterých můžeme využít svou odbornost. Díky tomu přinášíme stabilní pracovní místa a generujeme dlouhodobě udržitelný zisk. Dbáme na bezpečnost práce, ale i profesní rozvoj a spokojený osobní život našich zaměstnanců.

Stavíme svět zítřka





- Akreditované zkoušky v oblasti dopravního, inženýrského, pozemního a podzemního stavitelství
- Akreditované měření hluku, prašnosti, vibrací a osvětlení vnitřních prostorů
- Akreditované měření kanalizace a tlakové zkoušky
- Diagnostické a průzkumné práce vozovek a mostů
- Akreditované měření dopravního značení
- Řízení kvality stavebních projektů a výroben stavebních hmot

SQZ, s.r.o.

U místní dráhy 939/5, 779 00 Olomouc-Nová Ulice
Česká republika

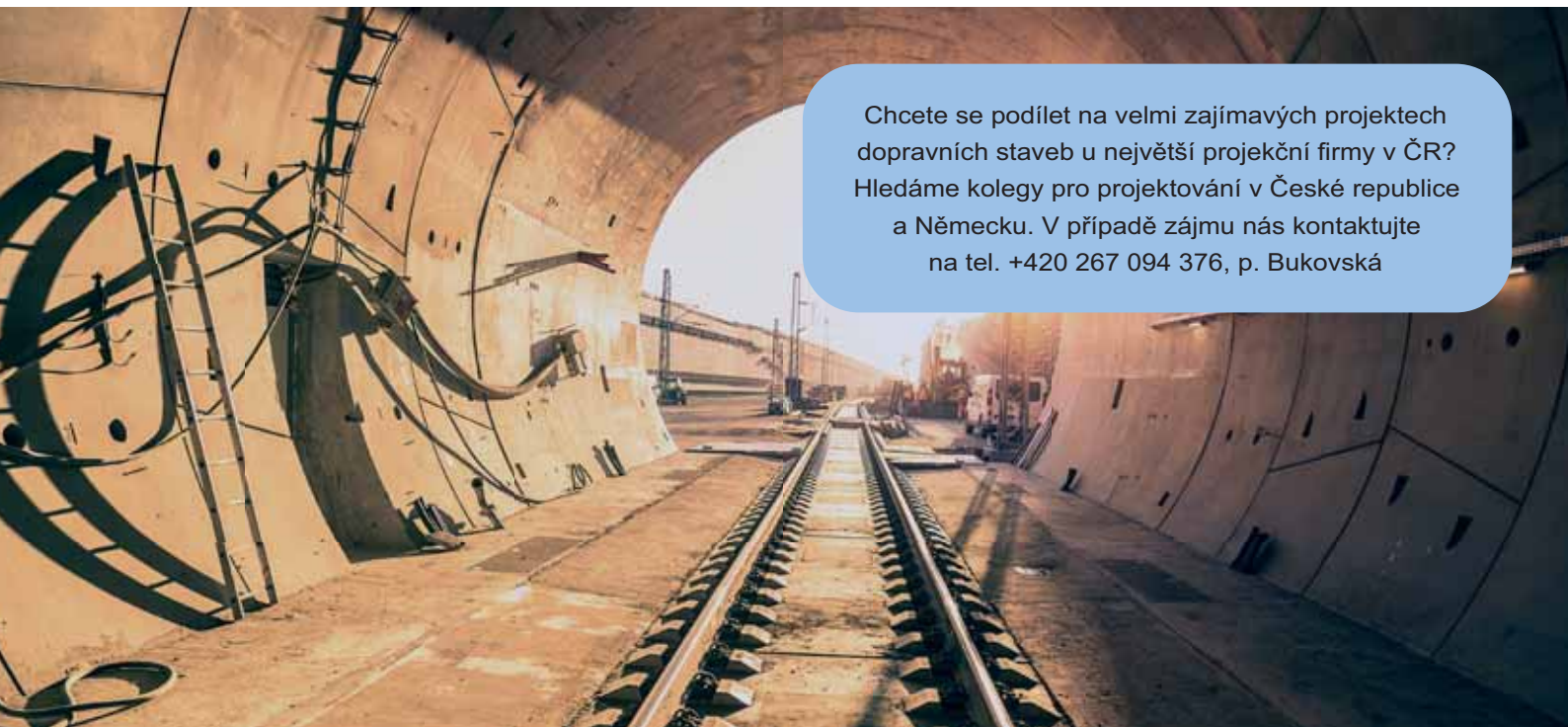
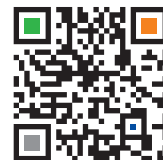
SQZ, s.r.o. – organizační zložka Bratislava

Mlynské Nivy 68, Bratislava
Slovenská republika

Obchod, poptávky

E obchod@sqz.cz

www.sqz.cz



Chcete se podílet na velmi zajímavých projektech dopravních staveb u největší projekční firmy v ČR? Hledáme kolegy pro projektování v České republice a Německu. V případě zájmu nás kontaktujte na tel. +420 267 094 376, p. Bukovská

 **SUDOP
PRAHA**
projekty - inženýring - konzultace

SUDOP PRAHA a.s.

je projektová, konzultační a inženýrská společnost s tradicí více než 65 let. Společnost nabízí velmi široké portfolio komplexních a profesionálních služeb v oblasti dopravní infrastruktury, pozemních staveb a veřejné dopravy, kde se soustřeďuje na velké projekty ze státního i privátního sektoru.

ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB THE WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

MOZAIKA ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB

■ 60 let německé asociace STUVA

Dnem vzniku německé asociace STUVA je 15. červen 1960. STUVA je německým ekvivalentem tunelářských asociací v ostatních členských zemích ITA. Její činnost je ovšem široká – zahrnuje vzdělávací, výzkumné, zkušební a konzultační činnosti. Tomu odpovídá i velikost jejího sídla v Kolíně nad Rýnem, kde ke svému výročí otevřela novou moderní budovu přistavěnou k rekonstruované stávající budově.

■ Mexický megatunel

V Mexiku budují největší kanalizační projekt na světě a my, tj. my v České republice, si můžeme říci, že nás problémy související s touto stavbou nemohou potkat. Posuďte sami: projekt se týká hlavního města země, ve kterém žije 19 milionů obyvatel a terén, na kterém stojí toto město, klesne každý rok o 120 mm, což činí za sto let 12 metrů! I rozsah stavby je mimořádný – tunelový kmenový sběrač má průměr 8,93 m a je dlouhý 62 km!

Novodobé město Mexiko (Mexico City) bylo založeno v roce 1521 na místě starověkého předkoloniálního města v prohloubenině tvořené dnem někdejších pěti velkých jezer. Je to prostor, který svědčí povodním. První zaznamenaná město zatopila o 34 roků později v roce 1555. Dnes jsou povodně častější a větší.

Využívání podzemních vod pod městem vede ke zmíněnému klesání města (jak už bylo uvedeno, město klesá o 12 cm za rok).

V šedesátých letech 19. století byl vykopán tzv. Grand Canal dlouhý 50 km, který měl odvádět dešťovou a odpadní vodu pryč z prohlubně, ve které stojí město. To ovšem od té doby kleslo tolik, že kanál má dnes obrácený spád. Problém se řešil výstavbou čerpacích stanic, které v roce 1975 byly schopné čerpat 80 m³/sec, dnes ovšem z různých důvodů čerpají jen 42 m³/sec.

Navzdory velmi složitým geotechnickým vlastnostem podloží byl v šedesátých letech 20. století pro odvedení odpadních vod ručně vyražen tunel přibližně 100 m pod povrchem, tzv. Emisor Central. Ten ale od roku 1975 také klesl, a sice o 7 m. Jeho úpravy a rekonstrukce jsou problematické, protože jím trvale proudí odpadní voda. Navíc od roku 1975 do roku 2000 se počet obyvatel zdvojnásobil na uvedených 19 milionů. Produkce odpadních vod stoupla na 40 m³/sec, ale systém je schopen odvést jen 10 m³/sec. Měl by ovšem odvádět i dešťové srážky, což ale není schopen a hlavně historické jádro často zaplavují povodně.

Děle nebylo možné čekat. V roce 2008 byla zahájena ražba nového kmenového sběrače (Tunel Emisor Oriente) průměru 8,93 m a délky 62 km. Sběrač odvede odpadní a dešťovou vodu mimo prohlubeň k nové čistírně odpadních vod o kapacitě 36 m³/sec, která je největší v Latinské Americe. Sběrač razilo šest zeminových štítů, tři dodala firma Robbins a tři Herrenknecht. Geotechnické podmínky pro ražbu byly extrémní. Od bahna, přes zvodnělé jily až k vulkanickým horninám. Razičí práce byly dokončeny koncem roku 2019.

Po uvedení nového sběrače do provozu bude původní sběrač (Emisor Central) rekonstruován.

■ Nové propojení německého ostrova Fehmarn s pevninou

Již dříve jsme informovali, že Dánsko a Německo se dohodly, že nahradí lodní trajekty převážející automobily i vlakové soupravy směřující na Kodaň podmořským naplavovaným tunelem. Jedná se o překonání mořské úžiny mezi německým ostrovem Fehmarn a Dánskem. Bude to grandiózní stavba, protože úžina má v tomto místě šířku skoro dvacet kilometrů.

Než ale k této stavbě dojde, dohodly se německé federální ministerstvo dopravy, stát Šlesvicko-Holštýnsko a německé železnice (DB)

o stavbě nového kapacitního silničního a železničního propojení mezi německou pevninou a ostrovem Fehmarn. Stávající silniční a železniční most postavený v roce 1963 těžko zvládá současnou intenzitu dopravy a vůbec by nebyl schopen zajistit její mnohonásobný nárůst po dokončení naplavovaného tunelu mezi ostrovem Fehmarn a Dánskem.

Po posouzení všech možných alternativ bylo rozhodnuto nové propojení německé pevniny s ostrovem Fehmarn provést naplavovaným tunelem délky 1,7 km, který bude mít dvě dvoupruhové trouby pro automobily a dvě jednokolejné trouby pro železnici.

Starý most se podle přání obyvatel přilehlých oblastí bourat nebude, lze jej totiž chápat s ohledem na jeho stáří jako krajinyotvorný prvek. Po uvedení nového propojení do provozu proběhne jeho rekonstrukce a bude sloužit pěším, cyklistům a pomalé vyhlídkové automobilové dopravě.

■ Příprava stavby druhé tunelové trouby gotthardského silničního tunelu

V prosinci 2019 švýcarské federální ministerstvo dopravy přezkoumalo projekt stavby druhé tunelové trouby gotthardského silničního tunelu a povolilo jeho dopracování a přípravu stavby. Podle stavu před vypuknutím koronavirové epidemie měly být stavební práce zahájeny začátkem letního období 2020. Druhá trouba by měla být uvedena do provozu v polovině roku 2029, pak by následovala rekonstrukce staré trouby a obě trouby by byly v provozu od roku 2032. Aby nedošlo ke zvýšení intenzity dopravy oproti současnému stavu, bude v každé troubě využíván pouze jeden jízdní pruh, druhý bude sloužit jen pro odstavení porouchaných vozidel.

■ Prorážka posledního tunelu do prostoru podzemního hlavního nádraží ve Stuttgartu

Začátkem května 2020 byl na železničním projektu Stuttgart 21 dosažen další důležitý milník – poslední ze čtyř tunelů ústících do prostoru budoucího podzemního hlavního nádraží byl prorazen. Jednalo se o východní troubu 9,5 km dlouhého tunelu Filder. Jedním z přínosů stavby po jejím dokončení bude zkrácení jízdní doby na stuttgartské letiště z půl hodiny na osm minut!

Kvůli koronavirové krizi se nemohla uskutečnit slavnostní prorážka, a proto člen představenstva DB v médiích vřele ocenil úsilí všech pracovníků, kteří se na splnění tohoto milníku podíleli.

Na projektu Stuttgart 21 je nyní prorazeno 50 km tunelů z celkové délky 59 km.

■ Mimořádný přítok vody do provozovaného bazového tunelu Lötschberg

Východní tunelová trouba švýcarského bazového tunelu Lötschberg musela být v roce 2020 prozatím třikrát uzavřena (v únoru, březnu a koncem dubna) kvůli přítoku vody a bahna do tunelu. Stalo se to asi 2,5 km od jižního portálu. V tom místě byl při ražbě průzkumnými vrty načepován krasový pramen, vyvěrající voda byla svedena do drenážního potrubí položeného za izolaci a za sekundárním betonovým ostěním. Předpokládá se, že vysoký tlak vody poškodil drenážní potrubí i izolaci.

V současnosti jsou prosakující voda a bahno svedeny do dočasné sedimentační nádrže a oblast je monitorována. Návrh řešení problému zahrnuje vybourání vnitřního ostění v délce 10 až 15 m a vyrazení kaverny kolmo na tunelovou troubu. V kaverně se zřídí sedimentační nádrž o objemu nejméně 1000 m³. Odsazená voda bude odváděna opraveným drenážním potrubím, usazený sediment se odveze po železnici.

Pokud švýcarské federální ministerstvo dopravy odsouhlasí tato opatření, předpokládá se, že práce budou zahájeny v podzimních měsících roku 2020. Východní trouba bude mimo provoz několik měsíců.

■ Prorážka na tunelu Svaté Lucie

V Itálii se pracuje v oblasti Apenin na zlepšení silničního spojení mezi Florencií a Bolognou. Cílem je dobudovat na křížení Apenin plně kapacitní dálnici A1. Klíčovým prvkem je dálniční tunel Sv. Lucie délky 7,5 km. Ten byl proražen 8. června 2020 největším tunelovacím strojem, který kdy byl v Evropě použit. Jde o zeminový štít (EPBS) o průměru 15,87 m vyrobený firmou Herrenknecht. Dosud největší štít průměru 15,55 m dodaný stejnou firmou razil také v Apeninách pro stejnou dálnici tunel Sparvo.

Stroj pro ražbu tunelu Sv. Lucia musel být vybaven varovným a ochranným systémem proti očekávaným výskytům metanu.

■ Podmořský tunel u města Shantou v Číně

Město Shantou leží 300 km východně od Hongkongu a rozprostírá se okolo zátoky Su' ai. Tunel délky 3,05 km o dvou troubách ražený pod zátokou spojí dvě protilehlé oblasti města a přispěje významně ke snížení automobilové dopravy ve městě. Každá tunelová trouba bude mít tři jízdní pruhy.

Tunely razí bentonitový štít o průměru 15,03 m, štít byl vyroben

v Číně a první troubu prorazil 7. srpna 2020 po 600 dnech ražby. Nebylo to nic jednoduchého, protože geotechnické i jiné podmínky (vysoká seismičita, malé nadloží) řadily projekt mezi vysoce obtížné. V trase byly zastíženy hlavně jemné až hrubé písky, bahno, zahliněné písky a také žula! Konstrukce štítu a jeho vybavení byly navrženy s ohledem na zvládnutí výše zmíněných složitých podmínek.

Nejlepší dosažené výkony ražby: 25 m za den, 150 m za týden a 400 m za měsíc.

■ Rekordně dlouhé potrubí odvádějící vyčištěnou odpadní vodu do moře v Kuvajtu

Vyčištěná odpadní voda z kanalizační čistírny v Kuvajtu bude odváděna do Perského zálivu 1950 m dlouhým potrubím. Potrubí bude mít vnitřní průměr 2,20 m a bude protlačováno soupravou o vnějším průměru 2,64 m, kterou dodala firma Herrenknecht. Odhaduje se, že se použije 16 až 17 tlačných mezistanic. Po dokončení ražby bude razící štít vyvednut z mořského dna pomocí nafukovacích vaků.

Ing. MILOSLAV NOVOTNÝ, mila_novotny@volny.cz

ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCES

KONFERENCE GEOTECHNIKA 2020 GEOTECHNICS 2020 CONFERENCE

The 17th Geotechnics 2020 international conference was held from 17th–18th September 2020 in Soláň hotel in the Beskyds. It was organised by the Department of Geotechnics and Underground Construction of the Faculty of Civil Engineering of the VŠB-TU Ostrava. The turnout at the conference, held under the auspices of the ITA-AITES Czech Tunnelling Association, was marked by coronavirus measures, which prevented traditional participants from Slovakia as well as from some domestic companies and organizations from participating in the conference. Nevertheless, an interesting program for more than 70 participants was successfully compiled. As in previous years, the focus of the conference was very wide, covering, among other things, the current area of energy geotechnics associated with gaining, respectively storing geothermal energy and the area associated with the preparation of a deep geological radioactive waste repository. 23 papers in total were presented during the two conference days.

Ve dnech 17.–18. 9. 2020 se konal v krásném prostředí horského hotelu Soláň v Beskydech 17. ročník mezinárodní konference Geotechnika 2020, jejímž organizátorem je Katedra geotechniky a podzemního stavitelství Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava. Účast na konferenci konané pod záštitou České tunelářské asociace ITA-AITES byla poznamenána koronavirovými opatřeními, která znemožnila tradičním účastníkům ze Slovenska i z některých tuzemských firem a organizací přijet na konferenci. Přesto se podařilo sestavit zajímavý program pro více než 70 účastníků. Stejně jako v předchozích ročnících bylo zaměření konference velmi široké, mimo jiné pokrývalo i aktuální oblast energetické geotechniky spojenou se získáváním, resp. ukládáním geotermální energie, a oblast spojenou s přípravou hlubinného úložiště radioaktivního odpadu. Během dvou konferenčních dnů zaznělo celkem 23 příspěvků.

V první části jednání byl jako tradičně dán prostor univerzitním pracovištím v České republice a na Slovensku pro prezentaci jejich pedagogické a vědecko-výzkumné činnosti. Tuto příležitost využily jak katedra geotechniky Stavební fakulty v Žilíně, tak i katedra geotechniky a podzemního stavitelství Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava. Příspěvek katedry geotechniky Slovenské technické univerzity v Bratislavě nebyl sice přednesen, ale je uveden ve sborníku kon-

ference. Všemi prezentovanými příspěvky s touto problematikou se neslo konstatování, že i přesto, že se katedry snaží různými způsoby propagovat studium tohoto zaměření, počty zájemců o studium problematiky geotechniky a podzemního stavitelství klesají, což na druhé straně kontrastuje s potřebami praxe. Zde patří poděkování mnoha firmám, které spolupracují s univerzitními pracovišti a různými formami pomáhají zvýšit zájem o studium oboru geotechnika a podzemní stavitelství a umožňují vyšší propojení výuky s geotechnickou praxí.

V další části konference vystoupili zástupci firmy SÚRAO s velmi zajímavými příspěvky, které se týkaly druhé etapy výstavby podzemního výzkumného pracoviště Bukov a také problematiky zúžení počtu lokalit pro umístění hlubinného úložiště.

V úvodní části konference představil možnosti využití geotechnického softwaru MIDAS GTS zástupce firmy Midas software s.r.o. Ing. Michna.

Část příspěvků konference byla věnována problematice stability svahů a jejich sanacím (prezentace zástupců firem AMBERG ENGINEERING Brno a.s., AMBERG ENGINEERING Slovakia, s.r.o., SAFETY PRO s.r.o., MACCAFERRI CENTRAL EUROPE s.r.o.). Zástupci akademických pracovišť VŠB-TU Ostrava a Ústavu geotechniky AV ČR Ostrava pak prezentovali problematiku stochastických přístupů k hodnocení stability svahů a dále srovnání standardně využívané metody redukce pevnostních parametrů pro kvantifikaci stupně stability s alternativní metodou limitní analýzy.

Na význam doplňkového inženýrskogeologického průzkumu na liniových stavbách na příkladu severního obchvatu města Opavy poukázal příspěvek doc. Pospíšila a prof. Rapantové.

Zástupci firmy GEOMAT s.r.o., připravili příspěvek týkající se principů plošného zakládání násypů pomocí geobuňkové struktury. Aplikací mechanického způsobu sanace promísením heterogenních zemin s nevhodnými deformačními parametry v úrovni zemní pláňe liniových staveb se zabýval kolektiv autorů z firmy SAFETY PRO s.r.o.

Problematice experimentálního odvození smykové pevnosti plášťového rozhraní mezi injektovanou mikropilotou a okolním prostředím se věnoval příspěvek doc. Vojtasíka z VŠB-TU Ostrava. Další příspěvek připravený kolektivem pracovníků z téhož pracoviště

prezentoval výsledky výzkumu interakce energetické piloty se stavbou a zeminovým prostředím.

Prof. Blaheta z Ústavu geoniky AV ČR přednesl za kolektiv autorů příspěvek týkající se inverzní analýzy pro stanovení hydraulické konduktivity hornin se zaměřením na oblast ražbou indukované porušené zóny v okolí podzemních děl. Autorský kolektiv z téhož akademického pracoviště pak připravil příspěvek zaměřený na únosnost ocelové obloukové výztuže podzemních chodeb, kombinace experimentálních měření a matematického modelování byla zaměřena především na optimalizaci spojovacích prvků, materiálů výztuže a způsobu jejího zatěžování.

Vybranými geotechnickými a bezpečnostními problémy spojenými s využíváním lokalit úložných míst těžebních odpadů pro stavební činnost se zabýval příspěvek Ing. Hájovského (SG-Geoinženýring s.r.o.).

Kolektiv autorů z katedry geotechniky a podzemního stavitelství Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava a University of Beira Interior z Portugalska představil výsledky svého výzkumu v oblasti chování výsypkových jílovitých materiálů povrchové těžby. Účastníci konference velmi zaujal příspěvek prof. Rapantové z téhož pracoviště, zabývající se predikcí zatápní ostravské uhelné pánve a jeho environmentálními riziky.

V rámci konference zazněly rovněž velmi zajímavé a inspirativní příspěvky z oblasti geotechnického monitoringu. Návrhem a implementací komplexních bezdrátových měřicích systémů pro monitoring vybraných veličin a včasnou identifikaci varovných stavů v geotechnické praxi představil kolektiv autorů z Fakulty elektrotechniky a informatiky VŠB-TU Ostrava na příkladech monitoringu stavu ochranných plůtí a bariér a monitoringu zatížení gabionových

zdí. Široké možnosti využití 3D skeneru v geotechnickém inženýrství pak představil kolektiv autorů z katedry geotechniky a podzemního stavitelství VŠB-TU Ostrava. Ve spolupráci pracovníků této katedry s pracovníky Fakulty elektrotechniky a informatiky VŠB-TU Ostrava byl rovněž připraven příspěvek týkající se alternativních přístupů sledování dynamických účinků od antropogenních zdrojů s využitím nově vyvíjeného optoelektrického interferometru.

Z důvodu nemožnosti osobní účasti některých kolegů jsou jejich příspěvky uvedeny pouze ve sborníku konference. Jedná se o příspěvek kolektivu autorů prof. Hulla (STU Bratislava), Ing. Chronen (Bauer Spezialtiefbau Ges.m.b.H) a Ing. Vrábela (Geotechnik SK s.r.o.) týkající se vlivu vodních tlakových horizontů a intenzivního proudění vody v nezatuhnuté betonové směsi na poruchy vrtaných pilot. Dále se jedná o příspěvek prof. Frankovské z STU Bratislava, zabývající se metodikou stanovení parametrů horninového prostředí spojených se změnou teploty v horninovém prostředí. Pouze ve sborníku je rovněž uveden příspěvek firmy Minova Bohemia s.r.o. zaměřený na rekonstrukci a statické zajištění zámku v Hradci nad Moravicí s aplikací mikropilot, plošné cementové i chemické injektáže a samozávrtných tyčí IBO R32.

Organizátoři děkují všem účastníkům a přednášejícím a věří, že i přes problémy spojené s epidemiologickými opatřeními byla konference v rouškovém stylu úspěšná a přínosná a že se za dva roky opět sejdem na dalším ročníku této konference v klidnějších časech.

*doc. RNDr. EVA HRUBEŠOVÁ, Ph.D.,
eva.hrubesova@vsb.cz,
Fakulta stavební, VŠB-TU Ostrava*

AKTUALITY Z PODZEMNÍCH STAVEB V ČESKÉ A SLOVENSKÉ REPUBLIC CURRENT NEWS FROM THE CZECH AND SLOVAK UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

ČESKÁ REPUBLIKA

METRO D – NOVÁ LINKA PRAŽSKÉHO METRA

Projekt metra D formou geologického průzkumu dospěl do fáze, kdy plánované činnosti na prvních dvou lokalitách ze čtyř již byly dokončeny. Na dokončených lokalitách tedy na lokalitě PAD1b (Metrostav a.s.) a lokalitě OL1 (STRABAG a.s.) proto v těchto chvílích probíhá vyhodnocování zastížených výsledků geologického průzkumu a geotechnických měření, v tomto kontextu jsou zde zpracovávány i závěrečné zprávy. Od srpna 2020 jsou pak dále obě lokality již sledovány a obsluhovány pouze z pohledu zabezpečení a údržby podzemního díla a ostrahy staveniště.

Společnostem INSET s.r.o. a GeoTec-GS, a.s., které se věnují pasportizaci a průběžnému sledování celkem 59 podzemních a povrchových objektů, byl na základě získaného souhlasu vlastníka nově zpřístupněn objekt budovy GEMINI Pankrác, na kterém tak již také mohla být těmito společnostmi provedena základní pasportizace. U všech sledovaných objektů se také připravuje průběžná aktuální repasportizace, která bude reagovat na postup prováděných prací v podzemí plynoucích z probíhajících ražeb.

V současné době tedy práce v podzemí probíhají v dotčeném úseku Pankrác – Olbrachtova již jenom na dvou zbývajících lokalitách PAD4 (Metrostav a.s.) a VO-OL (HOCHTIEF CZ a. s.) a soustředí se zejména na ražbu horizontálních štol a tunelů a pokusné chemické injektáže. Na lokalitě VO-OL (obr. 1, 2) má společnost HOCHTIEF CZ a. s. vyraženo již více než 180 m průzkumné štoly, na lokalitě PAD4 (obr. 3) se pak společnost Metrostav a.s. kromě

THE CZECH REPUBLIC

METRO D – NEW LINE OF PRAGUE METRO

The Metro D project in the form of geological survey has reached the phase where the activities planned for first two localities of the four have already been finished. At the completed locations, i.e. location PAD1b (Metrostav a.s.) and location OL1 (STRABAG a.s.). For that reason, the process of evaluating the encountered results of geological survey and geotechnical measurements is underway. The final reports are being prepared in this context. Since August 2020, both locations have been monitored and serviced only from the point of view of security and maintenance of the underground construction and the construction site security.

The companies of INSET s.r.o. and GeoTec-GS, a.s., which dedicate themselves to condition survey and continuous monitoring of the total of 59 underground and surface structures, were allowed the access to GEMINI Pankrác building on the basis of approval granted by the owner. Therefore, the two companies could carry out the basic condition survey of the building. A continuous current condition resurvey is also under preparation. It will respond to the progressing underground excavation.

At present, underground work proceeds in the Pankrác – Olbrachtova section only in the two remaining locations, PAD4 (Metrostav a.s.) and VO-OL (HOCHTIEF CZ a. s.), and is focused mainly on the excavation of horizontal galleries and tunnels and the trial chemical grouting. In the VO-OL location (see Figures 1 and 2), the company of HOCHTIEF CZ a. s. has finished the excavation of over 180m of the exploratory gallery. In the PAD4



Obr. 1 Lokalita VO-OL, pohled do průzkumné štoly v části rozšířené na plný profil budoucího dvoukolejného tunelu

Fig. 1 VO-OL location, a view down the exploratory gallery in the part expanded to the full profile of the future double-track tunnel

probíhajících ražeb věnuje také právě aplikaci a vyhodnocení užítosti chemických injektáží v daném geologickém prostředí. Tyto zbylé dvě lokality by podle platného harmonogramu měly být dokončeny v létě 2021.



Obr. 2 Lokalita VO-OL, čelba průzkumné štoly v části profilu budoucího dvoukolejného tunelu

Fig. 2 VO-OL location, excavation face of the exploratory gallery in the part of the future double-track tunnel profile

location (see Fig. 3), the company of Metrostav a.s. dedicates itself, with the exception of the ongoing underground excavation, also to the application and assessment of the usefulness of chemical grouting to the existing geological environment. According to the valid schedule, these two remaining locations should be completed in summer 2021.

A separate and certainly very important and monitored chapter is measuring of currently operating station tunnels and adjacent running tunnels of Pankrác station on metro line C, which are in direct contact with the excavation of galleries for geological survey. The Monitoring Board (MOBO), established for this purpose, is responsible for the assessment of data from these measurements and their interpretation in interaction with the underground excavation being carried out. One of the results of the MOBO activities is that the necessity for replacement of the existing DN400 water pipeline affected by the excavation in Na Strži Street, where the pipeline settlement values exceeded the values set by the design to be the values of the warning state assumed by the designer.

The public competition for the selection of the contractor for the first linking operating section, Pankrác – Olbrachtova (civil work) and for contractor for comprehensive geomonitoring of the same construction section is still ongoing. However, the process of both tenders was cast doubt upon by filing an objection with the ÚOHS (office for protection of competition), which is currently examining its legitimacy and the issuance of a subsequent binding decision is still expected.

The objections lodged by the complainant even within the framework of the building permission proceedings were rejected by a resolution of the two ministries concerned. Taking into consideration the above-mentioned facts, the current assumption for



Obr. 3 Lokalita PAD4, pohled do průzkumné štoly a příprava pro provádění chemických injektáží

Fig. 3 PAD4 location, a view down the exploratory gallery and preparation for chemical grouting

Samostatnou a jistě velmi důležitou a sledovanou kapitolou je měření dnes provozovaných staničních a k nim přilehlých traťových tunelů stávající stanice Pankrác metra C, s kterou jsou prováděné ražby štol geologického průzkumu v přímém kontaktu. Vyhodnocování dat z těchto měření a jejich interpretaci v interakci s prováděnými ražbami má na starosti za tímto účelem zřízená Rada monitoringu (RAMO). Jedním z výsledků činnosti RAMO je i identifikace nutnosti výměny ražbou dotčeného vodovodního řádu DN400 v ulici Na Strži, kde došlo k poklesu stávajícího potrubí nad projektem určené hodnoty jím předpokládaného varovného stavu.

Veřejná soutěž na výběr zhotovitele prvního navazujícího provozního úseku Pankrác – Olbrachtova (stavební část) a na dodavatele komplexního geomonitoringu stejného úseku stavby stále probíhá. Proces obou výběrových řízení však byl zpochybněn podáním námítky k ÚOHS, který nyní zkoumá jejich oprávněnost v očekávání vydání následného závazného rozhodnutí.

I v rámci stavebního řízení pro získání hlavního stavebního povolení byly podané námítky stěžovatele, které byly usnesením obou dotčených ministerstev zamítnuty. S přihlédnutím k výše uvedeným skutečnostem je tak aktuálním předpokladem pro zahájení stavby metra D v úseku Pankrác – Olbrachtova jaro 2021.

V navazujících činnostech potom obstaravatel zadavatele společnost Inženýring dopravních staveb a.s. pokračuje i v administraci žádosti vedoucí k získání stavebního povolení pro stavbu dalšího navazujícího provozního úseku Olbrachtova – Nové Dvory s přístupovými tunely z lokality Písnice.

Přejme tedy výstavbě trasy metra D i nadále hodně štěstí a dobrou kondici.

*Ing. BORIS ŠEBESTA, borissebesta61@gmail.com,
Ing. MICHAL ŠERÁK, serak@idspraha.cz*

NOVÉ ŽELEZNIČNÍ TUNELY NA IV. ŽELEZNIČNÍM KORIDORU

V rámci stavby „Modernizace trati Sodoměřice – Votice“ se budují dva nové železniční tunely. Oba tunely jsou raženy Novou raskouskou tunelovací metodou. Investorem stavby je Správa železnic, státní organizace a zhotovitelem stavby společnost OHL ŽS, a.s.



*Obr. 4 Tunel Mezno, zahájení prací na sekundárním ostění
Fig. 4 Mezno tunnel, commencement of work on secondary lining*

commencing the Metro D construction in the Pankrác – Olbrachtova section is the spring of 2021.

In follow-up activities, the procurer for the contracting authority, the company of Inženýring dopravních staveb a.s. (engineering of transport projects), continues to administer the application leading to obtaining a building permit for the construction of the next linking operating section, Olbrachtova – Nové Dvory with access tunnels from Písnice.

Let us wish the Metro D Line construction good luck and good physical condition.

*Ing. BORIS ŠEBESTA, borissebesta61@gmail.com,
Ing. MICHAL ŠERÁK, serak@idspraha.cz*

NEW RAILWAY TUNNELS ON RAILWAY CORRIDOR IV

Two new railway tunnels are under construction within the framework of the “Modernisation of the Sodoměřice – Votice track” project. The two tunnels are being driven using the New Austrian Tunnelling Method. Správa železnic, státní organizace (railway infrastructure administration, state organisation), is the project owner and OHL ŽS, a.s., is the contractor for construction.

Mezno tunnel

The Mezno tunnel is an 840m long mined double-track railway tunnel; 768m of its length are being mined; the following cut-and-cover sections at the entrance and exit portals are 48m and 24m long, respectively.

As of 20 October 2020, the tunnel excavation has been finished within the top heading and bench profiles including safety recesses. The bottom (invert) excavation is further underway in the 288m long section ahead of the entrance portal, which will be provided with a waterproofing system around the full circumference to protect drinking water sources near the tunnel. The work on the secondary lining (see Fig. 4) is underway from the exit portal. The total number of the 12m long tunnel blocks amounts to 70, with 2 + 4 blocks of that number being parts of the cut-and-cover tunnels. All tunnel blocks are designed as reinforced concrete structures. Mapeplan TU WL membrane 2.2mm thick is used for the intermediate umbrella waterproofing system, whilst a 3.2mm thick membrane is used in the section with the full-circumference waterproofing system. The lining from C 30/37 XF1 XA1 concrete in the mined tunnel is minimally 400mm thick; it is 600mm thick in the C 30/37 XA2 XF3 concrete cut-and-cover tunnel sections. The tunnel is equipped with a longitudinal system of central and side drains.

Deboreč tunnel

The Deboreč tunnel is a 660m long mined double-track railway tunnel; 562m of its length are being mined; the linking sections at both portals are 49m long each.

The tunnel excavation has been finished and provided with primary lining support throughout its length. At the moment, the work on the secondary lining is ongoing (see Fig. 5) in the direction from the exit portal and the cut-and-cover tunnel at the entrance is being concreted. The total number of the 12m long tunnel blocks amounts to 55, with 4 + 4 blocks of that number being parts of the cut-and-cover tunnels. Unreinforced concrete is designed for 10 tunnel blocks in the section with favourable geology. Sikaplan WP 1100-22HL2 membrane 2.2mm thick is used for the

Tunel Mezno

Tunel Mezno je ražený železniční dvoukolejný tunel celkové délky 840 m, z toho ražená část tvoří 768 m, navazující hloubená část u vjezdového portálu má délku 48 m a u výjezdového portálu 24 m.

K 20. 10. 2020 byl tunel vyražen v profilu kaloty a opěří včetně bezpečnostních výklenků. Dále probíhá dobírka dna (protiklenby) v úseku délky 288 m od vjezdového portálu, který bude opatřen celoplošnou izolací za účelem ochrany zdrojů pitné vody v blízkosti tunelu. Od výjezdového portálu jsou realizovány práce na sekundárním ostění (obr. 4). Celkový počet tunelových pásů délky 12 m je 70, z toho 2 + 4 jsou součástí hloubených tunelů. Všechny tunelové pásy jsou navrženy jako vyztužené. Pro mezilehlou deštníkovou hydroizolaci je použita PVC fólie Mapeplan TU WL 2,2 mm, v úseku s celoplošnou izolací je použita fólie tloušťky 3,2 mm. Minimální tloušťka ostění z betonu C 30/37 XF1 XA1 v raženém tunelu je 400 mm a v hloubených úsecích 600 mm z betonu C 30/37 XA2 XF3. Tunel je vybaven podélným systémem středních a bočních drenáží.

Tunel Deboreč

Tunel Deboreč je ražený železniční dvoukolejný tunel celkové délky 660 m, z toho ražená část tvoří 562 m a navazující hloubená část u obou portálů mají délku 49 m.

Tunel je v celé délce vyražen a zajištěn primárním ostěním. Aktuálně probíhají práce na realizaci sekundárního ostění (obr. 5) směrem od výjezdového portálu a betonáž vjezdového hloubeného tunelu. Celkový počet tunelových pásů délky 12 m je 55, z toho 4 + 4 jsou součástí hloubených tunelů, 10 tunelových pásů v úseku s příznivou geologií je nevyztužených. Jako mezilehlá deštníková hydroizolace je použita PVC fólie Sikaplan WP 1100-22HL2 tloušťky 2,2 mm. Minimální tloušťka ostění z betonu C 30/37 XC1 XF1 XA2 v raženém tunelu je 320, resp. 420 mm v úseku se spodní klenbou. V úseku průchodu tektonickou poruchou je použit beton C 50/60 XC1 XF1 XA2. V hloubených úsecích je tl. ostění 600 mm z betonu C 30/37 XC1 XA2 XF3. Tunel je vybaven podélným systémem středních a bočních drenáží.

Ing. TOMÁŠ JUST, tjust@ohlzs.cz, OHL ŽS, a.s.

ŽELEZNIČNÍ TUNEL ZVĚROTICE

Dvoukolejný železniční tunel Zvěrotice délky 370 m na tratovém úseku Soběslav – Doubí je součástí IV. železničního koridoru spojujícího po dokončení Prahu s Českými Budějovicemi a dále s rakouským Lincem. Stavba se nachází v těsné blízkosti města Soběslav a trasy dálnice D3.

Výstavba probíhá proudově od vjezdového portálu. Tunel je vzhledem k nízkému nadloží prováděn v otevřené stavební jámě hloubky až 15 m. Geologické poměry v trase tunelu vyžadují rozdílný způsob zajištění stability stavební jámy. V portálových oblastech v dobrých geotechnických podmínkách je stavební jáma prováděna jako svahovaná. První etáž stavební jámy chrání proti povětrnostním vlivům protierozní matrace, druhá a třetí etáž prováděna v horninách pevnostní třídy R4–R3 je stabilizovaná stříkaným betonem se sítí. Horninový masiv na bocích druhé a třetí etáže vyztužují tyčové kotvy typu SN délky 4 m. Dno stavební jámy v tomto úseku tvoří navětralé až zdravé pararuly. Střední část stavební jámy tvoří silně zvětralé horniny, které mají ve dně jámy charakter jílu. Její sta-



*Obr. 5 Tunel Deboreč, realizace sekundárního ostění
Fig. 5 Deboreč tunnel, work on secondary lining*

intermediate umbrella waterproofing system. The C 30/37 XC1 XF1 XA2 concrete lining in the mined tunnel is minimally 320mm thick, respectively 420mm thick in the section with invert. C 50/60 XC1 XF1 XA2 concrete is used in the section passing through the tectonic fault. The C 30/37 XC1 XA2 XF3 concrete lining is 600mm thick in the cut-and-cover sections. The tunnel is equipped with a longitudinal system of central and side drains.

Ing. TOMÁŠ JUST, tjust@ohlzs.cz, OHL ŽS, a.s.

ZVĚROTICE RAIL TUNNEL

The 370m long double-track rail tunnel in the Soběslav – Doubí track section is part of Railway Corridor No. 4, which will, after completion, link Prague with České Budějovice and further with Linz, Austria. The construction is located near the town of Soběslav and the D3 motorway route.

The construction proceeds from the tunnel entrance using the flow method of construction organisation. With respect to the shallow overburden, the tunnel is constructed in an open pit up to 15m deep. Geological conditions along the tunnel route require different systems of stabilisation of the construction pit. In the portal areas in good geological conditions, the construction pit is carried out as excavation with slopes. The first stage of the construction pit is protected against weather effects by anti-erosion mats; the second and third stages are excavated in R4–R3 strength class rock and are stabilised with shotcrete reinforced with welded mesh. The rock massif on the sides of the second and third stages is being reinforced by 4m long SN-type rod anchors. The construction pit bottom in this section is formed by slightly weathered to fresh paragneiss. The middle part of the construction pit is formed by heavily weathered rock having the character of clay in the bottom of the pit. Its stability is provided by pile walls anchored at three levels by pre-tensioned cable anchors. For that reason, the tunnel with invert will be used in this section. The invert bottom will be at the depth of 11.6m under the pile wall crown.

After complete excavation of the construction pit, the volume of the excavated rock will amount to 133,000m³. The backfill material is deposited on the stockpile visible on the right-hand side of the construction pit (see Fig. 6).



Obr. 6 Tunel Zvěrotice – celkový pohled

Fig. 6 Zvěrotice tunnel – overall view

bilitu zajišťují pilotové podzemní stěny kotvené ve třech úrovních lanovými předpjatými kotvami. Proto bude v tomto úseku použit tunel se spodní klenbou, jejíž vrchol bude 11,6 m pod korunou pilotové stěny.

Po úplném vyhloubení stavební jámy z ní bude vytěženo 133 000 m³ horniny. Pro uložení zásypového materiálu slouží depone viditelná na pravé straně stavební jámy (obr. 6).

Dne 19. 5. 2020 byla zahájena betonáž podkladních betonů základových pásů tunelového ostění. Po vybetonování téměř 100 m dlouhého úseku podkladních betonů byl 3. 6. 2020 pro betonáž připraven první základový pás portálového bloku ostění. Dne 25. 8. 2020 proběhla betonáž prvního bloku klenby ostění a do 17. 10. 2020 je vybetonováno pět bloků klenby tunelu o celkové délce 50 m. Stavbu tunelu provádí subdodávkou firma HOCHTIEF CZ a. s. pro „Sdružení Soběslav – Doubí“ tvořené firmami STRABAG a.s., EUROVIA CS, a.s. a Metrostav a.s.. Autorem realizační dokumentace tunelu je firma SAGASTA s.r.o.

Ing. LIBOR MAŘÍK, SAGASTA s.r.o.

SLOVENSKÁ REPUBLIKA

TUNELY NA DIAĽNIČNEJ SIETI

Tunely Ovčiarско a Žilina

Úsek diaľnice D1 tvorí južný obchvat Žiliny v celkovej dĺžke 11,320 km. Úsek sa začína v Hričovskom Podhradí v križovatke diaľnic D1 a D3 a končí v mieste napojenia na plánovanú križovatku Lietavská Lúčka, a v nej na privádzač Lietavská Lúčka – Žilina. Ide o jeden z technicky najnáročnejších úsekov, ktorý bude z veľkej časti vedený nadzemnými estakádami a v dvoch tuneloch (Ovčiarско – 2 367 m, Žilina – 687 m).

Stavebníkom a zároveň budúcim správcom diaľničného úseku a oboch tunelov je Národná diaľničná spoločnosť, a.s. Dobudovaním

Casting of blinding concrete under strip footings of the tunnel lining commenced on 19 May 2020. After completion of a nearly 100m long section of blinding concrete, on 3 June 2020, the first strip footing of the portal block of the lining was prepared for concreting. Concreting of the first block of the vault lining took place on 25 August 2020; concreting of five blocks of the tunnel vault at the aggregate length of 50m had been finished by 17 October 2020. The tunnel construction is being carried out by HOCHTIEF CZ a. s., a sub-contractor for the „Sdružení Soběslav – Doubí“ consortium, consisting of the companies of STRABAG a.s., EUROVIA CS, a.s. and Metrostav a.s. The company of SAGASTA s.r.o. is the author of the design of means and methods for the tunnel (the so-called execution design).

Ing. LIBOR MAŘÍK, SAGASTA s.r.o.

SLOVAK REPUBLIC

TUNNELS ON MOTORWAY NETWORK

Ovčiarско and Žilina tunnels

The D1 motorway section is formed by the southern by-pass of the town of Žilina with the total length of 11,320km. The section begins in the village of Hričovské Podhradie, in the intersection between the D1 and D3 motorways, and ends in the location of the connection to the planned Lietavská Lúčka intersection and, in this intersection, to the Lietavská Lúčka – Žilina link road. It is one of technically most complicated sections, a major part of which will be led along above-ground viaducts and through two tunnels (the Ovčiarско – 2367m, the Žilina – 687m).

Národná diaľničná spoločnosť, a.s., (National Highway Company) is the developer and, at the same time, the future administrator of the motorway section and both tunnels. By completing the D1 motorway construction, conditions will be created for relieving traffic congestions on I/18 and I/64 roads. It will significantly contribute to

diaľnice D1 pri Žiline sa vytvoria podmienky k odľahčeniu dopravy na cestách I/18 a I/64, čo výrazne prispeje k zníženiu negatívnych vplyvov dopravy na životné prostredie v meste Žilina a v obci Lietavská Lúčka.

Výstavba oboch tunelov je vo finálnej fáze – k sledovanému obdobiu prebieha odstraňovanie väd a nedorobkov z preberacích konaní na jednotlivých stavebných objektoch, realizácia ostatných stavebných prác v zmysle Pokynov na zmenu vydaných STD. V mesiaci september boli vykonané na tuneloch Ovčiarsko a Žilina individuálne funkčné skúšky vetrania, ako aj dymové skúšky.

V období 12. 10. 2020 – 21. 10. 2020 prebiehajú komplexné skúšky technologického vybavenia tunelov a ISD celej stavby riadením z existujúcich prevádzkovo-technologických objektov. V rámci komplexných skúšok budú vyskúšané dopravné-prevádzkové stavy prislúchajúce k premenným dopravným značkám, stavové prechody, ako aj „tunelreflexy“, t. j. reakcie technológie tunelov na zaznamenané incidenty v oboch tuneloch.

Zároveň, v úzkej súčinnosti so zložkami Integrovaného záchranného systému, prebieha príprava taktického cvičenia v tuneloch Ovčiarsko a Žilina, ktoré by malo byť zorganizované v priebehu decembra 2020. Predpokladaný termín odovzdania predmetného úseku motoristickej verejnosti je koniec roka 2020.

Zhotoviteľom diaľničného úseku D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka je združenie Ovčiarsko (Doprastav, a.s. – líder združenia, VÁHOSTAV-SK, a.s. – člen, STRABAG, s. r. o. – člen, Metrostav a.s. – člen).

Tunel Prešov

Tunel Prešov je diaľničný tunel vo výstavbe na Slovensku a nachádza sa na úseku diaľnice D1 Prešov západ – Prešov juh. Trasa tunelovej časti juhozápadného obchvatu Prešova bude tvorená dvoma nezávislými tunelovými rúrami, severná tunelová rúra bude dĺžky 2 230,5 m a južná tunelová rúra bude dĺžky 2 244,0 m.

Počas uplynulého obdobia, keď sa uvoľnili opatrenia vyhlásené vládou SR, resp. Úradom verejného zdravotníctva SR v súvislosti s rizikom šírenia nákazy koronavírusu, sa práce na tuneli Prešov znovu rozbehli, a to s enormným nasadením, aby zhotovitelia čo najviac dobehli zmeškanie z dôvodu nemožnosti nasadiť na pracovisku zahraničných pracovníkov počas obmedzení cezhraničného styku.

V priebehu prázdninových mesiacov sa podarilo dokončiť sekundárne ostenie hĺbených tunelov, štrbinové žľaby a kábelovody v oboch tunelových rúrach, zrealizovať nátery v severnej tunelovej rúre na 100 %, ale v južnej tunelovej rúre bolo možné pre obmedzenie spôsobené klimatickými podmienkami dokončiť nátery iba vrchnej časti ostenia. Tieto práce boli nutné pre začatie montáže technológií na ostenie tunela. Ku koncu septembra boli vo vrchlíku tunela dokončené závesné rošty a lávky na inštaláciu kábelových vedení v rozsahu viac ako 80 %.

Okrem prác na náteroch sa pracovalo aj na dokončení podkladných vrstiev vozovky v severnej tunelovej rúre, kde bolo do polovice októbra položených cca 14 000 m³ štrkových vrstiev a cca 4 000 m³ cementovej stabilizácie. Zostavy mechanizmov na pokládku štrkov a cementovej stabilizácie sa v októbri presunuli do južnej tunelovej rúry a teraz prebieha príprava na začatie pokládky cementobetónového krytu vozovky v severnej tunelovej rúre. Pokiaľ budú v nadchádzajúcom období trvať priaznivé klimatické podmienky, budú cementobetónová vozovka a nátery oboch tunelových rúr dokončené do vianočných sviatkov.

Posledné tri mesiace boli plánované operácie na logistiku a koordináciu prác v tunelových rúrach veľmi náročné, kedy sa doba prác šiestich mesiacov musela vmestiť do štyroch mesiacov. Nasadenie

reducing negative effects of traffic on the environment in the town of Žilina and in the village of Lietavská Lúčka.

The construction of the two tunnels is in the final phase – as of the monitored period, snagging has been eliminated and defects identified during take-over proceedings on individual construction objects have been rectified and the other construction work in the meaning of the Instructions for Change issued by the resident engineer has been implemented. In September, individual functional tests of ventilation and a smoke test were conducted in the Ovčiarsko a Žilina tunnels.

In the 12/10/2020–21/10/2020 period, comprehensive testing of tunnel equipment and the ISD of the whole construction by controlling from existing operation-technical objects have been underway. The traffic-operation states relevant to variable traffic signs, state transitions as well as the so called “tunnel reflexes”, i.e. responses of tunnel equipment to registered incidents in both tunnels will be tested within the framework of the comprehensive testing.

At the same time, a tactical exercise in the Ovčiarsko and Žilina tunnels is under preparation in close collaboration with the components of the Integrated Rescue System. It should be organised during December 2020. The assumed deadline for handing the section in question over to the motoring public is the end of 2020.

The contractor for the construction of the Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka section of the D1 motorway is the Ovčiarsko Consortium (Doprastav, a.s. – consortium leader, Váhostav-SK, a.s. – member, STRABAG, s.r.o. – member, Metrostav a.s. – member).

Prešov tunnel

The Prešov tunnel is a motorway tunnel under construction in Slovakia. It is located in the Prešov West – Prešov South section of the D1 motorway. The route of the tunnelled part of the southwest by-pass of Prešov will be formed by two independent tunnel tubes – the 2230.5m long northern tunnel tube and 2244.0m long southern tunnel tube.

In the past period, when the measures declared by the Government of the Slovak Republic, respectively the Public Health Authority of the SR, in relation to the risk of spreading the coronavirus infection were released, the work on the Prešov tunnel resumed, with enormous efforts so that the contractors caught up on the delayed work resulting from the impossibility of using foreign workers during the restrictions on cross-border relations.

During the holiday months, the secondary lining of the cut-and-cover tunnels, slotted drains and cableways were successfully completed in both tunnel tubes and 100% of painting in the northern tunnel tube was finished. However, in the southern tunnel tube, it was possible due to restrictions due to climatic conditions to finish the painting only of the upper part of the lining. The above-mentioned work was necessary for the commencement of installation of tunnel equipment on the tunnel lining. As of the end of September, over 80% of hanging grates and cable trays have been finished.

Apart from the work on painting, the work continued on finishing the roadway sub-base layers in the northern tunnel tube, where ca 14,000m³ of gravel layers and ca 4,000m³ of cement stabilisation were laid until mid-October. The sets of mechanical equipment for laying gravel and cement stabilisation were moved to the southern tunnel tube in October and currently the preparation for commencement of laying concrete road cover in the northern tunnel tube is underway. If the favourable climatic conditions continue in the coming period, the concrete roadway and paintings in both tunnel tubes will be finished by the Christmas holidays.

The planned operations were very demanding for logistics and coordination of work in the tunnel tubes during the last three months. The duration of the work planned for six months had to be carried out in four months. The employment of all working capacities was subject to laying the concrete road cover this year.

všetkých pracovných kapacít boli podriadené betonáži cementobetonového krytu vozovky v tomto roku.

Celú stavbu juhovýchodného obchvatu mesta Prešova realizuje združenie D1 Prešov (EUROVIA SK a.s., EUROVIA CS a.s., Doprastav a.s., Metrostav a.s., Metrostav Slovakia a.s.), tunel Prešov realizuje spoločnosť Metrostav a.s.

Tunel Bikoš

Tunel Bikoš s dvomi rúrami a dĺžkou 1155 m je súčasťou 4,3 km dlhého úseku rýchlostnej cesty R4 Prešov, severný ochvat, I. etapa, budovaného v plnom profile.

Razenie oboch tunelových rúr od severného portálu tunela sa začalo v priebehu mája 2020, pričom slávnostné začatie prác za účasti predstaviteľov štátnych a miestnych inštitúcií sa konalo 5. júna 2020. V októbri 2020 raziace práce pokračujú v oboch tunelových rúrach, keď je v západnej tunelovej rúre vyrazených viac ako 500 m a vo východnej tunelovej rúre viac ako 450 m kaloty tunela. Obe tunelové rúry budú prakticky v celej dĺžke vyrazené od severného portálu.

Zhotoviteľom stavby je združenie spoločností VÁHOSTAV-SK, a.s. a TuCon, a.s. Predpokladané ukončenie rýchlostnej cesty a jej uvedenie do prevádzky sa očakáva na jar 2023.

Tunel Čebrať

Súčasťou diaľničného úseku D1 Hubová – Ivachnová bude dvoj-rúrový tunel Čebrať s dĺžkou 3680 m. V predošliých rokoch boli diagnostikované rozsiahle problémy so stabilitou územia na západnom portáli tunela Čebrať a nadväzujúcom úseku diaľnice, ktoré si vyžiadali rozsiahle zmeny v technickom riešení, ktoré museli byť znovu posúdené v procese EIA a následne povolené v zmysle stavebného zákona.

V októbri 2020 stále prebieha razenie tunelových rúr od východného portálu v rámci projektu geologickej úlohy. Vyrazených je už viac ako 3000 m. Prípravné práce pre razenie tunelových rúr od západného portálu budú môcť začať až po vydaní stavebného povolenia, ktoré sa očakáva začiatkom roku 2021.

Zhotoviteľom stavby je združenie spoločností OHL ŽS, a.s., a Váhostav-SK, a.s.

Tunel Višňové

Najdlhším slovenským diaľničným tunelom má byť tunel Višňové s dĺžkou 7500 m, ktorý je súčasťou úseku diaľnice D1 Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala, vedeného južne od krajského mesta Žilina. Obe rúry tunela Višňové boli prerazené v auguste 2018, po 40 mesiacoch razenia. Betonáž sekundárneho ostenia je hotová na viac ako 60 % dĺžky tunela.

V polovici roku 2019 boli práce na tuneli, ako aj na súvisiacom diaľničnom úseku ukončené na základe dohody medzi objednávateľom, Národnou diaľničnou spoločnosťou a zhotoviteľom, združením Salini Impregilo – Dúha. Koncom januára 2020 bolo vyhlásené verejné obstarávanie prác súvisiacich s pokračovaním a dokončením stavby diaľnice, pričom tieto zahŕňajú aj dokončenie stavebnej časti tunela Višňové. Výber zhotoviteľa je realizovaný formou súťažného dialógu, pričom po ukončení výberu uchádzačov boli k ďalšej účasti v dialógu v auguste 2020 prizvaní traja uchádzači. V jesenných mesiacoch roku 2020 sa uskutočnila obhliadka stavby uchádzačmi a prebiehajú prvé kolá dialógu. Ukončenie výberového procesu sa očakáva v prvej polovici roku 2021.

*Ing. VLADIMÍR ĎURŠA, Doprastav, a.s.,
Ing. JIŘÍ BŘICHŇÁČ, Metrostav a.s.,
Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ,
Slovenská tunelárska asociácia*

The whole construction of the southeast by-pass of the town of Prešov has been carried out by the D1 Prešov consortium (EUROVIA SK a.s., EUROVIA CS a.s., Doprastav a.s., Metrostav a.s., Metrostav Slovakia a.s.); the Prešov tunnel is being carried out by the company of Metrostav a.s.

Bikoš tunnel

The 1155m long, twin-tube Bikoš tunnel is part of the 4.3km long section of the R4 Prešov, northern by-pass, stage I, driven using the full-face excavation system.

The excavation of both tunnel tubes from the northern portal started during May 2020. The ceremonial commencement of the work was held in the presence of representatives of state and local institutions on 5th June 2020. In October 2020, tunnel excavation continues in both tunnel tubes. Over 500m of the excavation have been finished in the western tunnel tube and over 450m of the tunnel top heading excavation have been finished in the eastern tube. Both tunnel tubes will be driven virtually throughout their lengths from the northern portal. The consortium of the companies of VÁHOSTAV-SK, a.s., and TuCon, a.s., is the contractor. The completion of the express highway and opening it to traffic is expected in spring 2023.

Čebrať tunnel

The 3680m long Čebrať double-tube tunnel will be part of the Hubová – Ivachnová section of the D1 motorway. Extensive problems were diagnosed in recent years with the stability of the area at the western portal of the Čebrať tunnel and the adjacent motorway section. They required extensive changes in the technical solution, which had to be reassessed in the EIA process and subsequently approved in the meaning of the Building Code.

In October 2020, the excavation of tunnel tubes from the eastern portal within the framework of the geological task still continues. Over 3000m of the tunnel excavation has been finished. Preparatory activities for the excavation of the tunnel tubes from the western portal will be allowed to start only after the issuance of the construction permit, which is expected at the beginning of 2021.

The consortium of the companies of OHL ŽS, a.s., and Váhostav-SK, a.s., is the contractor.

Višňové tunnel

The 7.5km long Višňové tunnel, which is part of the Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala section of the D1 motorway, leading south of the regional capital Žilina, is to be the longest motorway tunnel in Slovakia. Both tubes of the Višňové tunnel were broken through in August 2018, after 40 months of tunnel excavation. Concreting of the secondary lining has been finished on over 60% of the tunnel length.

In mid-2019, the work on the tunnel and the adjacent motorway section was terminated on the basis of an agreement between the contractor, National Highway Company, and the contractor, the Salini Impregilo – Dúha consortium. At the end of January 2020, the public procurement was published for the work associated with the continuation of the motorway construction, comprising also the completion of the civil and structural work on the Višňové tunnel. The selection of the contractor is being carried out in the form of a competitive dialogue. After the prequalification round, three applicants were invited to participate further in the dialogue in August 2020. In the autumn months of 2020, the applicants inspected the construction site and first rounds of the dialogue are underway. The end of the tendering process is expected in the first half of 2021.

*Ing. VLADIMÍR ĎURŠA, Doprastav, a.s.,
Ing. JIŘÍ BŘICHŇÁČ, Metrostav a.s.,
Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ,
Slovenská tunelárska asociácia*



Obr. 7 Ukončené práce v tuneli Diel
Fig. 7 Finished work in Diel tunnel

ŽELEZNIČNÉ TUNELY DIEL A MILOCHOV

Tunel Diel

Tunel Diel (obr. 7) prechádza masívom vrchu Diel, ktorý tvorí centrálnu časť meandru Váhu v oblasti Nosiskej priehrady. Tunel je navrhnutý v dĺžke 1082 metrov. Razenie tunela prebiehalo v masíve popod kúpele Nimnica. Západný portál je situovaný na okraji obce Nimnica, východný portál (obr. 8) sa realizuje v území lesa nad cestou druhej triedy II/507, ktorá vedie z Púchova do Považskej Bystrice po pravom brehu toku Váhu v oblasti Nosiskej priehrady. Tunel Diel má prerazenú únikovú štôľňu, ktorá ústí do priestoru východného portálu tunela.

O tuneli Diel na tomto mieste napíšeme pár slov poslednýkrát, a to z čistého dôvodu: tunel je dokončený a premávajú cezeň už vlaky. Stalo sa tak 17. 9. 2020. Pribudol tak k Tureckému Vrchu (rok sprevádzkovania 2012) druhý hotový tunel na modernizovanej trati z Bratislavy do Žiliny.

Tunel Milochov

Na prekľenutie úpätia vrchu Stavná, južne od miestnej časti Horný Milochov mesta Považská Bystrica, je navrhnutý nový tunel Milochov. Projektovaná dĺžka tunela je 1861 m. Tunel má jednu únikovú štôľňu, ktorá vyúsťuje v obci Horný Milochov.

Od predošlého čísla časopisu Tunel sa aj na stavbe tunela Milochov diali viaceré udalosti. V pondelok 7. septembra bol tunel za účasti ministra dopravy Andreja Doležala slávnostne prerazený. Ukončili sa tak tie náročnejšie práce spojené s nevyspytateľnou geológiou (obr. 9).

Od východného portálu sa začalo s budovaním spodných klenieb spodnej časti sekundárneho ostenia. Spodné klenby sú použité v horších geologických podmienkach (obr. 10). Tam kde je geológia priaznivejšia, tam budú nahradené základovými pásmi. Dnešným dňom (15. 10. 2020) sa začali práce na skladaní armatúry pre prvý blok hornej klenby sekundárneho ostenia. Po dokončení a zatahnutí debniaceho vozňa do vnútra razeného tunela sa začne na východnom portáli pripravovať realizácia falošného primárneho ostenia pre zhotovenie hĺbenej časti tunela.

DIEL AND MILOCHOV RAILWAY TUNNELS

Diel tunnel

The Diel tunnel (see Fig. 7) passes through the Diel hill massif, which forms the central part of the Váh River meander in the area of the Nosisce dam. The tunnel design length amounts to 1082 metres. The tunnel was driven through the massif under the Nimnica spa. The western portal is located on the outskirts of the municipality of Nimnica; the eastern portal (see Fig. 6) is being constructed in the wooded area above the II/507 secondary road leading from Púchov to Považská Bystrica along the right bank of the Váh River, in the area of the Nosisce dam. The Diel tunnel has got the escape gallery breakthrough finished. The gallery has its exit in the area of the eastern portal of the tunnel.

We are going to write several words about the Diel tunnel in this place for the last time for a pure reason: the tunnel has been completed and trains already pass through it. It happened on 17 September 2020. Thus the second tunnel has been added to the Turecký Vrch tunnel (brought into service in 2012) on the rail line from Bratislava to Žilina being modernised.

Milochov tunnel

The new Milochov tunnel is designed for overcoming the bottom of Stavná hill south of the Horný Milochov municipal district of the town of Považská Bystrica. The tunnel length design amounts to 1861 metres. The tunnel will have one escape gallery ending in the municipality of Horný Milochov.

Several events have taken place on the Milochov tunnel construction site since the previous TUNEL journal issue. The tunnel breakthrough ceremony took place in the presence of Andrej Doležal, Minister of Transport, on Monday the 7th September. Thus the more complicated work associated with unfathomable geology has been finished (see Fig. 9).

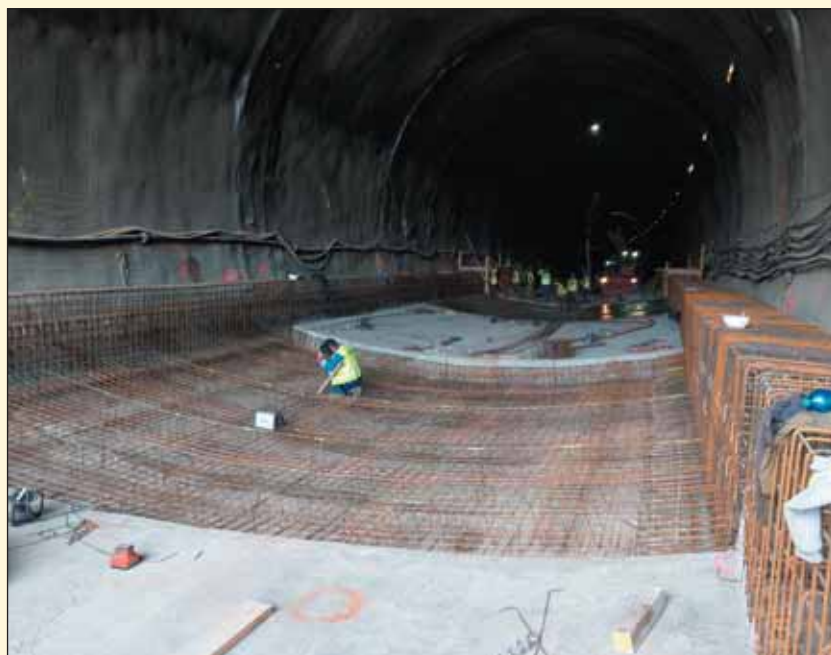
From the eastern portal, the construction of secondary lining invert has started. The invert blocks are used in worse geological conditions (see Fig. 10). Where geology is more favourable, invert blocks will be replaced by strip foundations. The work on the installation of reinforcement for the first block of the upper vault of the secondary lining started today (15 October 2020). After the completion of the traveller formwork and pulling it into the tunnel, the work on preparation of the false primary lining for the cut-and-cover part of the tunnel will start at the eastern portal.



Obr. 8 Východný portál tunela Diel
Fig. 8 Eastern portal of Diel tunnel



Obr. 9 Konečné terénne úpravy ZP Milochov
Fig. 9 Final ground shaping at Milochov WP



Obr. 10 Spodné klenby sekundárneho ostenia Milochov
Fig. 10 Milochov tunnel secondary lining invert blocks

Na západnom portáli začali práce na konečných terénnych úpravách, ktoré pozostávajú z gabiónových obkladov portálových stien a obloženia hĺbeného tunela vystuženou zeminou a obkladovými prvkami z kamenných gabiónov.

Celú stavbu realizuje združenie Nimnica zložené zo spoločností Doprastav – TSS Grade – SUBTERRA – EŽ Praha. Tunel Diel realizuje 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, REMING CONSULT a.s.

At the western portal, the work on final ground shaping commenced. It comprises gabion cladding of portal walls and cladding of the cut-and-cover tunnel with reinforced earth and gabion cladding elements.

The whole construction is being carried out by the Nimnica consortium consisting of Doprastav – TSS Grade – SUBTERRA – EŽ Praha. The Diel tunnel has been carried out by the company of TUBAU, a.s. and the Milochov tunnel by the company of Subterra a.s. REMING CONSULT a.s. is the general designer for the project owner, Železnice Slovenskej republiky (Railways of the Slovak Republic).

Ing. JÁN KUŠNÍR, REMING CONSULT a.s.

Z HISTORIE PODZEMNÍCH STAVEB FROM THE HISTORY OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

POHLEDNICE S TUNELEM POD PRŮLIVEM LA MANCHE PICTURE POSTCARDS WITH CHANNEL TUNNEL

This part of the cycle is bringing picture postcards with the Channel Tunnel. Initial plans for building a tunnel under the English Channel date back to 1802. Other plans followed in the 19th century, but they hit practicable technical possibilities. It was as late as 1964 that an official agreement was concluded between Britain and France on the construction of an undersea tunnel. A systematic survey and searching for solutions to technical and economic aspects of the project began with that. The choice finally fell on an undersea mined rail tunnel with a standard gauge and speed of 160km/h, without an impact on shipping and environmentally friendly. The final arrangement of the project consists of two main transportation tunnels Ø 7.6m (excavated profile Ø 8.8m) with track centres 30m apart, with a service tunnel Ø 4.8m (excavated profile Ø 5.8m) in the middle. The three tunnels are transversally connected with each other every 375m. The piston effect of a passing train is reduced between the main tunnels by ventilation ducts at a spacing of 250m. The net length of the underground route amounts to 50.45km, with

37.9m of that length running under the sea, which is from 30 to 50m deep here. Tunnel boring machines were chosen as the most suitable tunnelling technique. Tunnelling started in 1988 and the tunnel was brought into service in 1994. Construction costs in 1985 prices amounted to 4.65 milliard.

Lamanšský průliv mezi Francií a Velkou Británií (francouzsky *La Manche*, anglicky *English Channel*) spojuje Keltské a Severní moře. Je 32 až 180 km široký, 520 km dlouhý, s max. hloubkou 172 m a nejužším místem mezi městy Dover a Calais. Dnes jde o vůbec nejrušnější lodní cestu na světě. Z pohledu geologického je Lamanšský průliv velmi mladý. Vznikl zhruba před 10 000 lety, kdy na konci poslední doby ledové tající ledovce zvýšily hladinu moří a britské ostrovy se tak oddělily od evropské pevniny. [1]

První záměry na vybudování tunelu pod průlivem pocházejí z roku 1802. V 19. stol. je následovaly další, narážející však na



Obr. 1 Tunel pod kanálem spojující Francii s Anglií. ARTAUD Frères – Éditeurs – Z. I. Rue de la Métallurgie 44470 CARQUEFOU (Nantes). 1995. [sbírka autorů]

Celkem 150 km tunelů bylo vyvrtáno skálou pod kanálem. Dva jednosměrné železniční tunely (po jednom pro každý směr). Každý z tunelů má délku 50 km, 7,60 m v průměru a je připojený, vždy po 375 metrech, k tunelu servisnímu.

Fig. 1 The Channel linking France to England. ARTAUD Frères – Éditeurs – Z. I. Rue de la Métallurgie 44470 CARQUEFOU (Nantes). 1995. [authors' collection]

The 150km long tunnel has been driven through the rock beneath the channel bed. Two one-way railway tunnels (one for each direction). Each 50km in length – 7,60 metres in diameter connected to the service tunnel every 375 metres.

reálné technické možnosti. Ve 20. stol. pak byly hlavní překážkou obavy o bezpečnost Velké Británie. Až v roce 1964 byla mezi Británií a Francií uzavřena oficiální dohoda o vybudování podmořského tunelu. S tím započal systematický průzkum a hledání řešení technických a ekonomických aspektů projektu. Ve hře byly kombinace mostů a tunelů, varianta silniční či železniční a různé technologie výstavby. Volba nakonec padla na podmořský ražený železniční tunel s normálním rozchodem a rychlostí 160 km/hod, bez dopadu na lodní dopravu a šetrný i ekologicky. [2]

Ražba byla umístěná do vrstvy slínové křídly, horniny sice relativně slabé, ale současně lehce rozpoužitelné a dostatečně nosné pro stabilní výrub tunelu. Velmi důležitá byla její nízká propustnost.



Obr. 2 Tunel pod LaManche. Eurotunnel v Sangatte. Francouzský terminál. Editions ESTEL – BLOIS B. P. 45-41260 LA CHAUSSEE – SAINT – Victor. Photo P. Viard. 1994. [sbírka autorů]

Fig. 2 The Channel Tunnel. The French Terminal. Editions ESTEL – BLOIS B. P. 45-41260 LA CHAUSSEE – SAINT – Victor. Photo P. Viard. 1994. [authors' collection]



Obr. 3 Projekt tunelu pod LaManche byl schválený. © Publishing «Fine Arts». Artist V. Viktorov. From the selection «Man and the Ocean». 1974. [sbírka autorů]

Půjde o železniční tunel pro vlaky elektrické trakce. Doba cesty z Londýna do Paříže a zpět bude 4,5 hodiny. Tunel bude procházet průměrně v hloubce 110 metrů pod hladinou. Bude sestávat ze tří trub. Dvě vnější, určené pro průjezd vlaků v obou směrech, budou mít průměr 6,58 metru a střední trouba – servisní – 3,84 metru. Pro nákladní dopravu jsou k dispozici dvoupatrové vagóny, ve kterých budou převáženy automobily při rychlosti do 160 kilometrů za hodinu. V roce 1977, když se otevře provoz tunelu mezi britskými ostrovy a evropskou pevninou, se Anglie stane „poloostrovem“ Evropy.

Jde o kuriozitu – pohlednici vydanou v Sovětském svazu již 14 let před zahájením stavby a dlouhých 20 let před zahájením provozu v Eurotunelu. Rozměry traťových tunelů i tunelu servisního, udávané v popisu na rubu této pohlednice – viz, jsou zde oproti pozdější skutečnosti značně podhodnocené a uvedení tunelu do provozu je předpokládáno o 17 let dříve...

Fig. 3 The Channel Tunnel project was approved. © Publishing «Fine Arts». Artist V. Viktorov. From the selection «Man and the Ocean». 1974. [authors' collection]

It will be a rail tunnel for electric traction trains. Travel time from London to Paris and back will take 4.5 hours. The tunnel will run at the average depth of 110 metres under the sea level. It will consist of three tubes. Two outer tubes, designed for the passage of trains in both directions, will be 6.58m in diameter and the middle tube – service one – will be 3.84m in diameter. Double-deck wagons are available for freight transport. Cars and vehicles will be carried on them at the speed of up to 160 kilometres per hour. In 1977, when the tunnel operation between British Islands and the European mainland will start, England will become a peninsula of “Europe”.

It is a curiosity – a picture postcard issued in the Soviet Union already 14 years before the commencement of the construction and long 20 years before the commencement of the Channel Tunnel operation. The dimensions of the running tunnels and the service tunnel which are presented in the description on the underside of this picture postcard – see, are significantly underestimated in comparison with the later reality and bringing of the tunnel into service is expected 17 years earlier.



Obr. 4 Tunel pod Kanálem. Kresba Chrise Parkera. Janon Distribution 0293-523565. Okolo 1985. [sbírka autorů]

Představa mladého britského umělce o provozu v budoucím podmořském Eurotunelu.

Fig. 4 Channel tunnel. Drawing by Chris Parker. Janon Distribution 0293-523565. Around 1985 [authors' collection]

Notion of a young British artist of the operation in the future undersea Channel Tunnel.

Vrstva také vykazovala podél většiny trasy málo poruch, s výjimkou geologicky komplikovanější partie u francouzského pobřeží. Průzkum mořského dna také odhalil systém sníženin oslabujících nadloží tunelu a vyplněných sedimenty. Trasa proto mohla být navržena tak, aby se i tomuto riziku vyhnula. [2, 3]

Z organizačních a ekonomických důvodů se však výstavba neustále odkládala, roli hrály i obavy o proveditelnost. Původně státní projekt se změnil na soukromý. Ražba tak započala až v roce 1988. Technickým ředitelem stavby se stal pan Colin Kirkland (jeho bonmot: Když začneme razit tunely, všechno co může být špatné, taky bude špatné). [4]

Finální uspořádání díla sestává ze dvou hlavních dopravních tunelů Ø 7,6 m (ražba v Ø 8,8 m) vzdálených od sebe 30 m, se servisním tunelem Ø 4,8 m (ražba v Ø 5,8 m) uprostřed. Tyto tři tunely jsou každých 375 m vzájemně příčně propojené. Pístový efekt projíždějícího vlaku je mezi hlavními tunely redukováný vzduchovými kanály po 250 m. Čistá délka podzemní trasy činí 50,45 km, z toho 37,9 km vede pod mořem, zde hlubokým mezi 30 až 50 m. [3]

Za nejvhodnější technologii ražby byly zvoleny razicí štíty. Stavba byla zahájena z mezilehlých vstupů Shakespeare cliff (v Anglii) a Sangatte (ve Francii). Servisní tunel byl ražený v předstihu jako průzkumná štola. Z anglické strany bylo nasazeno šest otevřených štítů (po třech na podmořský a na pevninský úsek). Z Francie, ve složitějších podmínkách, postupovalo pět dvouplášťových zeminových

štítů (EPB). Anglické stroje byly označeny alfanumericky, francouzské byly pojmenovány: Brigitte, Catherine, Virginie, Pascaline a Séverine. Francouzské štíty využily v příznivých geologických poměrech pro zrychlení tempa otevřeného módu ražby. Postup na francouzské straně byl u servisního tunelu průměrně 20 m/den (max. 56 m/den), u hlavních tunelů průměrně 25 m/den (max. 54 m/den). První prorážka v servisním tunelu připadla na 1. 12. 1990, směrová odchylka mezi čelbami byla 358 mm, výšková 58 mm. Měřické vedení přitom komplikovaly dva odlišné geodetické systémy. Technickou zajímavostí vrcholící realizace bylo „pohřbení“ štítů postupujících z Anglie těsně před prorážkou francouzskými stroji. Anglické štíty byly odkloněny z trasy a následně zabetonovány. [3]

Tunelování bylo zahájeno roku 1988, tunel byl otevřený v roce 1994. Stavební náklady v cenách roku 1985 činily 4,65 mld. GBP (ekvivalent 2015 – 13 mld. GBP); náklady tak byly překročeny o 80 %.

- Tunel je dnes třetí nejdelší liniovou podzemní stavbou na světě.
- Na vrcholící stavbě se podílelo 15 000 pracovníků, s denními výdaji přes 3 mil. GBP.
- Během výstavby přišlo o život 10 pracovníků (někdy se udává 12), z nich osm byli Britové.
- V roce otevření zvolila Americká společnost stavebních inženýrů tunel za jeden ze sedmi moderních divů světa.
- Lokomotivy pro tunel byly zkoušeny v ČR na Železničním zkušebním okruhu Cerhenice.
- Dne 3. 8. 2006 vyhlásila společnost provozující Eurotunnel bankrot a požádala o ochranu před věřiteli – zisky z provozu nepokrývaly splácení dluhů od stavby; 15. 1. 2007 schválil francouzský soud restrukturalizaci firmy, což se setkalo s nevolí britských věřitelů.
- Od roku 1997 se pokoušejí nelegální migranti zneužívat tunel pro vstup do Velké Británie.

Perlička na závěr: V roce 2009 projel John Surtees (MS F1) max. povolenou rychlostí 50 km/h servisním tunelem ve sportovním elektromobilu. Roku 2014, při 101. ročníku cyklistických závodů Tour de France, projel Chris Froome rovněž servisním tunelem průměrnou rychlostí 65 km/h; tím byl rychlejší nejen než většina trajektů v průlivu, ale také rychlejší než jezdec F1 ve výše zmíněném elektromobilu [2, 3, 4].

doc. Ing. VLADISLAV HORÁK, CSc.,
Ing. RICHARD SVOBODA, Ph.D.,
Ing. MARTIN ZÁVACKÝ

Poděkování: Článek byl vytvořen v rámci řešení projektu č. LO1408 „AdMaS UP – Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie“ podporovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu „Národní program udržitelnosti I“ a projektu č. TE01020168 „Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI)“ podporovaného z programu Centra kompetence Technologické agentury České republiky (TAČR).

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Lamanšský průliv [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné na internetu <https://cs.wikipedia.org/wiki/Laman%C5%A1sk%C3%BD_pr%C5%AFliv>
- [2] Channel Tunnel [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné na internetu <https://en.wikipedia.org/wiki/Channel_Tunnel>
- [3] Pompée, Pierre-Jean: Channel Tunnel Tunnels Construction, AMICALE DES BATISSEURS DU TUNNEL SOUS LA MANCHE (1995). [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné na internetu <<https://web.archive.org/web/20090326113849/http://pagesperso-orange.fr/batisseurs-tunnel/3tunnels.pdf>>
- [4] New Civil Engineer: Channel Tunnel champion Colin Kirkland dies (2005) [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné na internetu <<https://www.newcivilengineer.com/archive/channel-tunnel-champion-colin-kirkland-dies-06-01-2005/>>

ROZLOUČENÍ LAST FAREWELL

VZPOMÍNKA NA ING. MILOSLAVA DRHOLCE
MEMORY OF ING. MILOSLAV DRHOLEC

S lítostí a velkým zármutkem velmi nerad přispívám do této nejméně oblíbené rubriky časopisu Tunel, abych oznámil, že dne 6. 9. 2020 ve věku 67 let nečekaně navždy odešel do stvařského nebe náš dlouholetý kolega a kamarád Ing. Miloslav Drholec.

Narodil se 11. 1. 1953 v Praze a po absolvování SPŠ stavební dokončil v roce 1984 studium na Fakultě stavební ČVUT v Praze.

Celou svou pracovní kariéru zasvětil práci při inženýrské činnosti u přípravy staveb a zejména technickému dozoru investora při realizaci jednotlivých etap výstavby pražského metra. Působil nejprve jako zaměstnanec v řadách Dopravního podniku hl. m. Prahy a v roce 1994 po odstěpení části podniku do soukromého sektoru jako zaměstnanec Inženýringu dopravních staveb (IDS).

Pracovní činnost na metru zahájil na trase III.C na úseku Florenc – Nádraží Holešovice. Dále se podílel na úseku trasy II.B Florenc – Českomoravská. V letech 1992–1999 se jako vedoucí týmu technických dozorů podílel na výstavbě metra trasy IV.B Českomoravská – Černý Most, v letech 1999–2004 při realizaci IV.C1 Nádraží Holešovice – Ládví a následně pak v letech 2004–2005 při realizaci trasy IV.C2 Ládví – Letňany.

V období, kdy se nerozvíjela výstavba pražského metra, si Míla pro investora Ředitelství silnic a dálnic v barvách IDS „odskočil“ oddozorovat silniční okruh kolem Prahy stavbu 512 Jesenice – Vestec a na silnici I/38 obchvat Kolína.

S dalším rozvojem pražské sítě metra se v letech 2010–2015 podílel na výstavbě trasy V.A ze stanice Dejvická do Motola a následně zahájil tzv. 0. etapu výstavby metra I.D Pankrác – Písnice, kde nyní probíhá inženýrsko-geologický průzkum a geotechnický monitoring a pasport v úseku Pankrác – Olbrachtova.

Málo kdo ví, že Míla byl mimo svou profesi za mládí i velmi úspěšným sportovcem a aktivně se věnoval veslování, o čemž svědčí i skutečnost, že svou základní vojenskou povinnost si mohl „odbýt“ v Dukle a poté za sportovní veslařský klub Smíchov dokonce působil i celosvětově jako reprezentant tehdejšího Československa.

Dále také nemůžeme nezmínit Míldu jako obdivuhodného sběratele modelů hraček, zejména autíček Matchbox. Jeho sbírce dokonce vysekl poklonu i majitel specializovaného obchodu v londýnském Greenwich, kam zavítal jeden z Mílových kolegů s katalogem firmy s vyznačenými modely, které již Míla měl, s kamarádským úkolem cosi nového mu pořídit.

Svých pracovních kolegů si Míla vždy vážil. I jako vedoucí jednotlivých pracovních týmů uměl vždy naslouchat všem ostatním, a když bylo potřeba, uznal ostatní názory tak, aby se dílo vždy podařilo. Stejně tak dobře uměl srovnat názory všech ostatních účastníků stavby od investorů, projektantů až po zhotovitele (někdy i své nadřízené) a nebál se, i za cenu rizika vedoucího k vlastní zodpovědnosti, za sebe rozhodnout ku prospěchu zdárného dokončení každé stavby.

Mílo, bude nám všem chybět Tvůj osobitý humor, nadhled, rozvaha a klid a Tvoje zkušenosti. Děkujeme Ti za Tvou dlouholetou poctivou práci, kterou si pro stavebnictví a zejména pro podzemní vykonal.



With regret and great sorrow, very reluctantly, I am contributing to this least favourite section of TUNEL journal to announce that on September 6, 2020, our long-time colleague and friend Ing. Miloslav (Míla) Drholec passed unexpectedly away at the age of 67 in builders' heaven.

He was born in Prague on January 11, 1953 and, in 1984, after passing a secondary vocational school of building, he graduated from the Faculty of Civil Engineering in Prague.

He dedicated entire his career to engineering consultancy in programming for construction projects and, first of all, to client's technical supervision over the implementation of individual stages of the construction of the Prague Metro. In 1994, after demerging a part of the company to the private sector, he became an employee of the company of Inženýring Dopravních Staveb (IDS).

His working activities started on the metro Line C section No. III (IIIC) between Florenc and Nádraží Holešovice and, further on, he participated in the construction of the Florenc – Českomoravská part of the Line B section No. II (IIB). From 1992 to 1999 he participated, in the position of the head of a team of technical supervisors, in the construction of the Line IVB between the stations of Českomoravská and Černý Most; from 1999 to 2004 he continued in the implementation of the Line IVC1 section between the stations of Nádraží Holešovice and Ládví and, subsequently, from 2004 to 2005, in the implementation of the Line IVC2 section between the stations of Ládví and Letňany.

In the period during which the development of the Prague metro was suspended, Míla nipped over to work for the Road and Motorway Directorate (in the colours of the IDS company) to supervise the construction lot No. 512 of the Prague City Ring Road (outer circle) between Jesenice and Vestec and the I/38 road by-pass of Kolín.

From 2010 to 2015, with the further development of the Prague metro network, he participated in the construction of the Line VA from Dejvická station to Motol and subsequently started the so-called zero stage of the development of the Line ID from Pankrác to Písnice, where the engineering geological survey is currently underway, together with geotechnical monitoring and condition survey of buildings in its Pankrác – Olbrachtova section.

Few people know that in his youth, apart from his profession, Míla was even a very successful sportsman and actively dedicated himself to rowing. This is evidenced, among others, by the fact that he was allowed to do his basic military duty in Dukla sports club and, subsequently, in the dress of Smíchov rowing club, he even acted worldwide as a representative of the then Czechoslovakia.

Furthermore, we cannot fail to mention Míla as an admirable collector of models of toys, first of all Matchbox cars. His collection was even paid a compliment by the owner of a specialist shop in Greenwich, London, which was visited by one of Míla's colleagues presenting a catalogue of firm's models, where Míla had marked the models he already had owned, with a friendly task to provide something new for him.

Míla always respected his work colleagues. Even as the leader of individual work teams, he could always listen to everyone else and, when necessary, he accepted other opinions so that the work always succeeded. He was equally good in setting up opinions of all other participants in the construction, from project owners, designers up to contractors (sometimes even his superiors) and was not afraid, even at the cost of risk leading to his own responsibility, to decide for himself for the benefit of the successful completion of any construction project.

Míla, we all will miss your distinctive humour, levity, deliberation and composure, as well as your experience. Thank you for the years of your honest work you did for the construction industry and, first of all, for underground structures.

Ing. MICHAL ŠERÁK

Ing. MICHAL ŠERÁK

SPOMIENKA NA PROFESORA FRANTIŠKA KLEPSATELA MEMORY OF PROFESSOR FRANTIŠEK KLEPSATEL

Profesor František Klepsatel bol výraznou osobnosťou tunelového staveiteľstva na Slovensku. Ovplyvnil a zanechal nezabudnuteľnú spomienku u mnohých tunelárskych odborníkov, vrátane čitateľov tohto časopisu. Svoj profesionálny život spojil so Stavebnou fakultou STU v Bratislave, kde pôsobil päť desaťročí ako vysokoškolský učiteľ.

Narodil sa 31. mája 1935 v rodine železničného úradníka v Markušovciach na východnom Slovensku. Svoj dospelý život prežil v Bernolákove pri Bratislave, kde spolu s manželkou Alenkou vychovali dve dcéry, Danku a Blanku. Po štúdiu na Stavebnej fakulte SVŠT nastúpil v januári 1959 ako asistent prof. Juraja Mencla na katedru dopravných stavieb a od roku 1962 prestúpil na novovytvorenú katedru geotechniky. Viac ako desaťročná úzka spolupráca s prof. Menclom definitívne ovplyvnila jeho výskumno-vývojovú činnosť, v ktorej sa zamerával najmä na bezvýkopové metódy výstavby štôlní v zeminách metódami štítovania a pretláčania železobetónových potrubí, neskôr aj na metódy riadneho mikrotunelovania. Podieľal sa na riešení technológie výstavby tlakových privádzačov PVE Čierny Váh vrátane návrhu ich optimálnych sklonov. Po nežnej revolúcii začal intenzívne spolupracovať s kolegami tunelármi na univerzitách vo Viedni a Grazi a dá sa povedať, že spoluzakladal rakúsko-slovenskú spoluprácu pri navrhovaní a výstavbe tunelov. V predstihu takto získal množstvo poznatkov, čo mu umožnilo aktívne sa zúčastňovať prípravy a výstavby prvého slovenského diaľničného tunela Branisko. V roku 1995 bol menovaný vysokoškolským profesorom. V roku 2008 mu bol udelený titul čestného člena Slovenskej tunelárskej asociácie.

Skromný, pracovitý, priateľský, s typickým úsmevom na perách. Vždy plný energie organizoval postgraduálne kurzy, orientované na výstavbu dopravných tunelov, kde dokázal spojiť tých najlepších odborníkov, tunelárov zo Slovenska aj Čiech. Rád a dobre písal a jeho výraznou črtou bola schopnosť preniesť na papier mnohé zo svojich skúseností a vedomostí, o čom svedčí 14 publikovaných odborných monografií a množstvo nielen vedeckých, ale najmä odborných článkov.

Vo svojej mladosti bol profesor Klepsatel, Ferko, ako ho oslovovali priatelia, výkonným športovcom – ľahkým atlétom. Okrem aktívneho športovania pracoval aj vo výbore športového klubu TJ Slávia STU. Neskôr zamenil beh za chôdzu a stal sa z neho obdivuhodný a neúnnavný turista. Do turistiky preniesol veľkú časť svojej energie a spoznávanie nových miest mu spôsobovalo radosť a naplnenie. Navštívil takmer každý kút Slovenska, ale aj tie najkrajšie a najzaujímavejšie miesta, pohoria a prírodné rezervácie na všetkých piatich kontinentoch. Výzvou boli pre neho aj málo dostupné a zabudnuté miesta. Priateľov a kolegov vedel dlho zabávať a zároveň vzdelávať rozprávaním originálnych zážitkov a príbehov spojených s touto jeho najväčšou záľubou. Ďalšou celoživotnou láskou bola jeho záhrada s ovocnými stromami, z plodov ktorých sa tešil so svojimi dcérami a neskôr aj vnúčatami.

Iskra v jeho v očiach však po osemdesiatke začala slabnúť a postupne sa ho zmocňovala choroba, ktorej nakoniec 14. októbra 2020 podľahol.

Všetci, ktorí sme Ferka Klepsatela poznali, spomínajme na neho s úctou a láskou.

prof. JANA FRANKOVSKÁ
Vedúca katedry geotechniky, Stavebná fakulta STU



Professor František Klepsatel was a strong personality of the tunnel construction industry in Slovakia. He influenced many tunnelling professionals and left unforgettable memories in them, including this journal readers. He connected his professional life with the Faculty of Civil Engineering of the Slovak Technical University in Bratislava, where he worked as a university teacher for five decades.

He was born on 31st May 1935 in the family of a railway clerk in Markušovce in Eastern Slovakia. He spent his adult life in Bernolákov near Bratislava, where he and his wife Alenka raised two daughters, Danka and Blanka. After studies at the Faculty of Civil Engineering of the Slovak Technical University (the STU), he started in January 1959 as an assistant to Prof. Juraj Mencl at the Department of Transport Engineering and, from 1962, he transferred to the newly established Department of Geotechnics. The more than ten years lasting close cooperation with Prof. Mencl definitely influenced his research and development activities, where he focused first of all on trenchless methods of construction of galleries in soils using shields and reinforced concrete pipe jacking methods, later also controlled microtunnelling methods. He participated in the solution for the technology of construction of high-pressure penstocks of the Čierny Váh pumped storage power plant, including designing optimal gradients for them. After the Velvet Revolution, he started to intensely collaborate with fellow tunnellers at the universities in Vienna and Graz, and it is possible to say that he co-founded the Austrian-Slovak cooperation in designing and constructing tunnels. In this way, he gained a lot of knowledge in advance, which allowed him to actively participate in the preparation and construction of the first Slovak motorway tunnel, the Branisko. In 1995, he was appointed a university professor. In 2008, he was awarded the title of honorary member of the Slovak Tunnelling Association.

Modest, hardworking, friendly, with a typical smile on his lips. Always full of energy, he organized postgraduate courses focused on the construction of transport tunnels, where he managed to bring together the best experts, tunnellers from Slovakia and the Czech Republic. He liked writing and wrote well, and his distinctive trait was the ability to transfer to paper much of his experience and knowledge, as evidenced by 14 published professional monographs and a number of not only scientific but mainly professional papers.

In his youth, Professor Klepsatel, Ferko as he was called by his friends, he was an excellent sportsman – light athlete. Apart from active sporting, he also worked in the committee of TJ Slávia STU sports club. He later exchanged running for walking and became an admirable and tireless tourist. He transferred a big part of his energy to tourism and finding new places gave him joy and fulfilment. Not only did he visit nearly every corner of Slovakia. He also visited the most beautiful and more interesting places, mountains and nature reserves on all five continents. Even little accessible and forgotten places were a challenge for him. He knew how to entertain his friends and colleagues for a long time and, at the same time, educate by narrating original experiences and stories and telling original experiences and stories related to this greatest liking of his. His garden with fruit trees, the fruits of which he enjoyed with his daughters and later with his grandchildren, was another lifelong love of his.

However, the spark in his eyes began to weaken after the age of eighty, and he was gradually overcome with the disease. On 14th October 2020, he succumbed to it.

Let all of us who have known Ferko Klepsatel, remember him with respect and love.

prof. JANA FRANKOVSKÁ
Head of the Department of Geotechnics
of the Faculty of Civil Engineering of the STU

Z ČINNOSTI PRACOVNÍCH SKUPIN CZTA WORKING GROUPS

VZNIK PRACOVNÍ SKUPINY „MLADÝCH TUNELÁŘŮ (CZTA_YM)“ V RÁMCI TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE ESTABLISHMENT OF „YOUNG TUNNELLERS (CZTA_YM)“ WORKING GROUP IN THE TUNNELLING ASSOCIATION

In October 2020, a group of young tunnellers was established as a working group of the Czech Tunnelling Association. Groups of young tunnellers (the so-called Young Members) have already been established within the framework of national tunnelling associations in over 21 member states of the International Tunnelling Association. The main intention of the group is to provide support to its members in early careers, thus to create a functioning community among young tunnellers. The group's objectives at the international level will include representation of the Czech Republic among other related organizations (Young Members) within the framework of the International Tunnelling Association, ITA. The group would also like to continue to closely collaborate with related organisations from neighbouring countries.

V říjnu 2020 byla založena skupina mladých tunelářů jako pracovní skupina České tunelářské asociace. K založení skupin mladých tunelářů (tzv. Young Members) v rámci národních tunelářských asociací došlo již ve více než 21 členských státech Mezinárodní tunelářské asociace. Samotnému založení předcházelo zjištění zájmu mezi potenciálními členy. Iničiátoři byli mile překvapeni, jakého ohlasu se iniciativě z řad mladých tunelářů dostalo, když se přihlásilo více než 35 zájemců.

Jedním z hlavních cílů skupiny je poskytnout jejím členům podporu v začátcích kariéry a vytvořit tým mezi mladými tuneláři fungující komunitu. Toho by mělo být dosaženo zejména pořádáním společenských akcí, seminářů a návštěv staveb. V rámci pořádaných akcí by skupina chtěla zprostředkovávat kontakty mezi stejně zaměřenými kolegy a zlepšovat tak spolupráci mezi stavebními a projekčními společnostmi a vědeckými institucemi. Skupina si rovněž klade za cíl informovat mladé inženýry a inženýrky o aktuálním dění v tunelářství a popularizovat podzemní stavitelství mezi studenty vysokých škol.



Obr. Přípravné jednání pracovní skupiny muselo být vzhledem k situaci uspořádáno distančně

Fig. Preparatory meeting of the working group had to be organised as a distance meeting

Mezi cíle skupiny na mezinárodní úrovni bude patřit zastupování České republiky mezi ostatními příbuznými organizacemi (Young Members) v rámci Mezinárodní tunelářské asociace ITA. Skupina by rovněž ráda navázala úzkou spolupráci s příbuznými organizacemi ze sousedních států.

V případě zájmu stát se členem nově vzniklé pracovní skupiny kontaktujte skupinu na emailové adrese cztaym@seznam.cz.

VERONIKA PAVELCOVÁ, FSv ČVUT – katedra geotechniky,
JIŘÍ ŠACH, Metrostav Norge AS,
SIMONA ZETKOVÁ, Amberg Engineering AG,
ZDENĚK ŽIŽKA, METROPROJEKT Praha a.s.

ZPRAVODAJSTVÍ ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE ITA-AITES CZECH TUNNELIG ASSOCIATION ITA-AITES REPORTS

www.ita-aites.cz

VALNÉ SHROMÁŽDĚNÍ CZTA ITA-AITES GENERAL ASSEMBLY OF CZTA ITA-AITES

The General Assembly of the ITA-AITES Czech Tunnelling Association was held on 30th September 2020. Ing. Ivan Hrdina, the Chairman of the CzTA, informed about the activities of the association since the last meeting of the General Assembly, when publishing of TUNEL journal continued. The Tunnel Afternoon meetings (seminars with underground topics) were organised. In 2019, the annual professional trip was also held. Its aim was the construction of the Brenner base tunnel. Ing. Václav Soukup referred about the economy of the association. Ing. Markéta Prušková, Ph.D., acquainted those present with the plan of activities of the association for 2020. Unfortunately, the majority of events were suspended with respect to the current situation. The beginning of the preparation of the Underground Construction Prague was another topic. Ing. Zdeněk

Žizka presented information within the framework of the meeting about the establishment of a new WG – Young Tunnellers. The next point was the election of the Board of the Association. Ing. Ivan Hrdina was elected as the CzTA Chairman and Ing. Alexandr Butovič, Ph.D., doc. RNDr. Eva Hrušešová, Ph.D., Ing. Libor Mařík, doc. Dr. Ing. Jan Pruška, Ing. Václav Soukup and Prof. Ing. Matouš Hilar, M.Sc., Ph.D., as members of the Board. The student competition for the best diploma thesis in the field of underground construction for the year 2019 was evaluated. The first place was won by Ing. Michal Steiner (FCE VŠB-TU) with a diploma thesis on the topic *Stabilisation of construction pit for the eastern portal of the Prešov tunnel* (doc. Hrušešová the thesis supervisor), the second place was won by Ing. Michaela Pecková (FSv ČVUT) for the thesis on *Radlice*



foto Ing. Libor Mařík photo Ing. Libor Mařík

Obr. 1 Ing. Zdeněk Žižka informující o založení PS Mladí tuneláři
Fig. 1 Ing. Zdeněk Žižka informing about foundation of the WG Young Tunnellers

tunnel design (Prof. Barták the thesis supervisor). The third prize was taken over by Ing. Tomáš Dostál (FCE BUT) for a diploma thesis entitled *Design of excavation and primary lining of a tunnel on the construction of a high-speed railway link* (doc. Horák the thesis supervisor). Finally, Bc. MSc. Michal Froněk, CEng, MICE, DIC from SŽDC delivered a lecture on the current stage of preparation of tunnel construction projects.

Valné shromáždění České tunelářské asociace ITA-AITES se konalo z důvodu covid-19 v náhradním termínu ve středu 30. září 2020 v hotelu Olšanka, Táboritská 23, Praha 3. Jednání zahájil a řídil předseda CzTA Ing. Ivan Hrdina.

Na začátku jednání předsednictvo oznámilo, že pamětní medaile CzTA bude udělena Ing. Jiřímu Pavlíkovi, CSc., který si ji ale z důvodu pandemické situace nemohl převzít, proto mu bude předána při nejbližší vhodné příležitosti.

Jednání pokračovalo informací předsedy CzTA o činnosti asociace od posledního zasedání valného shromáždění, kdy pokračovalo vydávání časopisu Tunel. Další pravidelnou aktivitou je pořádání Tunelářských odpolední (do začátku roku 2020 jich asociace uspořádala již 35). V roce 2019 se také konal každoroční odborný zájezd, cílem byl rakouský Innsbruck, účastníci měli možnost se podívat na stavbu Brennerského bázového tunelu.

Dalším bodem jednání byla zpráva o hospodaření asociace, kterou přednesl Ing. Václav Soukup. V roce 2019 dosáhla asociace příznivého výsledku, kdy její hospodaření skončilo téměř vyrovnaným rozpočtem. Dále byli přítomni seznámeni s návrhem rozpočtu asociace na rok 2020. Vzhledem k tomu, že byl rozpočet upraven k datu ko-

nání valného shromáždění, promítly se do něj změny kvůli covid-19 a hospodářský výsledek lze očekávat kladný (mnoho akcí byla CzTA nucena zrušit, popř. omezit).

Ing. Markéta Prušková, Ph.D., obeznámila přítomné s plánem činnosti asociace na rok 2020, kdy se jen zčásti pokračuje v běžných aktivitách – i přes panující situaci se daří pokračovat v přípravě časopisu Tunel. Bohužel pořádání Tunelářských odpolední i odborného zájezdu bylo odsunuto na vhodnější dobu. Dále se jedná o začátku přípravy konference Podzemní stavby Praha, bude se muset rozhodnout o vhodném termínu.

Doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D., zaslala zprávu o současném stavu pracovních skupin CzTA. K aktivním patří PS pro odbornou výchovu, pro legislativu a technickou pomoc a pro konvenční tunelování – ta vydala na konci roku 2019 novou příručku pro konvenční tunelování (je k dispozici v kanceláři CzTA). V tomto bodě vystoupil také Ing. Zdeněk Žižka a informoval o zřízení nové PS – Mladí tuneláři. Popsal budoucí náplň práce této PS a vyzval další zájemce, aby se zapojili do činnosti. Více informací je v samostatném příspěvku v rubrikách tohoto čísla časopisu Tunel.

Dalším velmi významným bodem byly volby do předsednictva asociace. Předsedou CzTA byl znovu zvolen Ing. Ivan Hrdina. Rovněž bylo zvoleno všech šest členů předsednictva – Ing. Alexandr Butovič, Ph.D., doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D., Ing. Libor Mařík, doc. Dr. Ing. Jan Pruška, Ing. Václav Soukup a prof. Ing. Matouš Hilár, M.Sc., Ph.D.

V následující části valného shromáždění byla schválena změna stanov týkající se stanovování členského příspěvku a způsobu podepisování za asociaci.

Zasedání pokračovalo vyhodnocením studentské soutěže o nejlepší diplomovou práci z oboru podzemního stavitelství za rok 2019, ocenění si převzali Ing. Michal Steiner (FAST VŠB-TU), který se umístil na první pozici s diplomovou prací na téma *Zajištění stavební jámy východního portálu tunelu Prešov* (vedoucí práce doc. Hrubešová). Třetí cenu převzal Ing. Tomáš Dostál (FAST VUT) za diplomovou práci s názvem *Návrh ražby a primárního ostění tunelu na stavbě vysokorychlostního železničního spojení* (vedoucí práce doc. Horák). Ing. Michaela Pecková (FSV ČVUT), která získala druhé místo za práci *Návrh tunelu Radlice* (vedoucí práce prof. Barták), se bohužel nemohla předávat zúčastnit. Oceněným poblahopřál a předal odměnu předseda CzTA Ing. Ivan Hrdina.

V části zasedání zaměřeného na odbornou tematiku vystoupil Bc. MSc. Michal Froněk, CEng, MICE, DIC ze SŽDC s přednáškou o aktuálním stadiu přípravy tunelových projektů. Můžeme si jen přát, aby se tyto projekty dostaly co nejdříve do fáze realizace.

Ing. MARKÉTA PRUŠKOVÁ, Ph.D.,
 pruskova@ita-aites.cz, generální sekretář CzTA



foto Ing. Libor Mařík photo Ing. Libor Mařík

Obr. 2 Ing. Ivan Hrdina s oceněnými studenty, Ing. Michalem Steinerem (vlevo) a Ing. Tomášem Dostálem (vpravo)
Fig. 2 Ing. Ivan Hrdina with awarded students, Ing. Michal Steiner (left) and Ing. Tomáš Dostál (right)



foto Ing. Libor Mařík photo Ing. Libor Mařík



Železniční trať Sudoměřice-Votice, realizace MP deštníku rozrážky tunelu Deborec ze zajištěné portálové jámy tunelu

Trasa metra D: Stavební jáma (VO-0L) na pražské Pankráci pro doplňkový geologický průzkum je pažena kotvenou převrtávanou pilotovou stěnou

**SPOLEHLIVÝ A SILNÝ PARTNER
PRO ZAJIŠTĚNÍ TUNELOVÝCH
STAVEB**



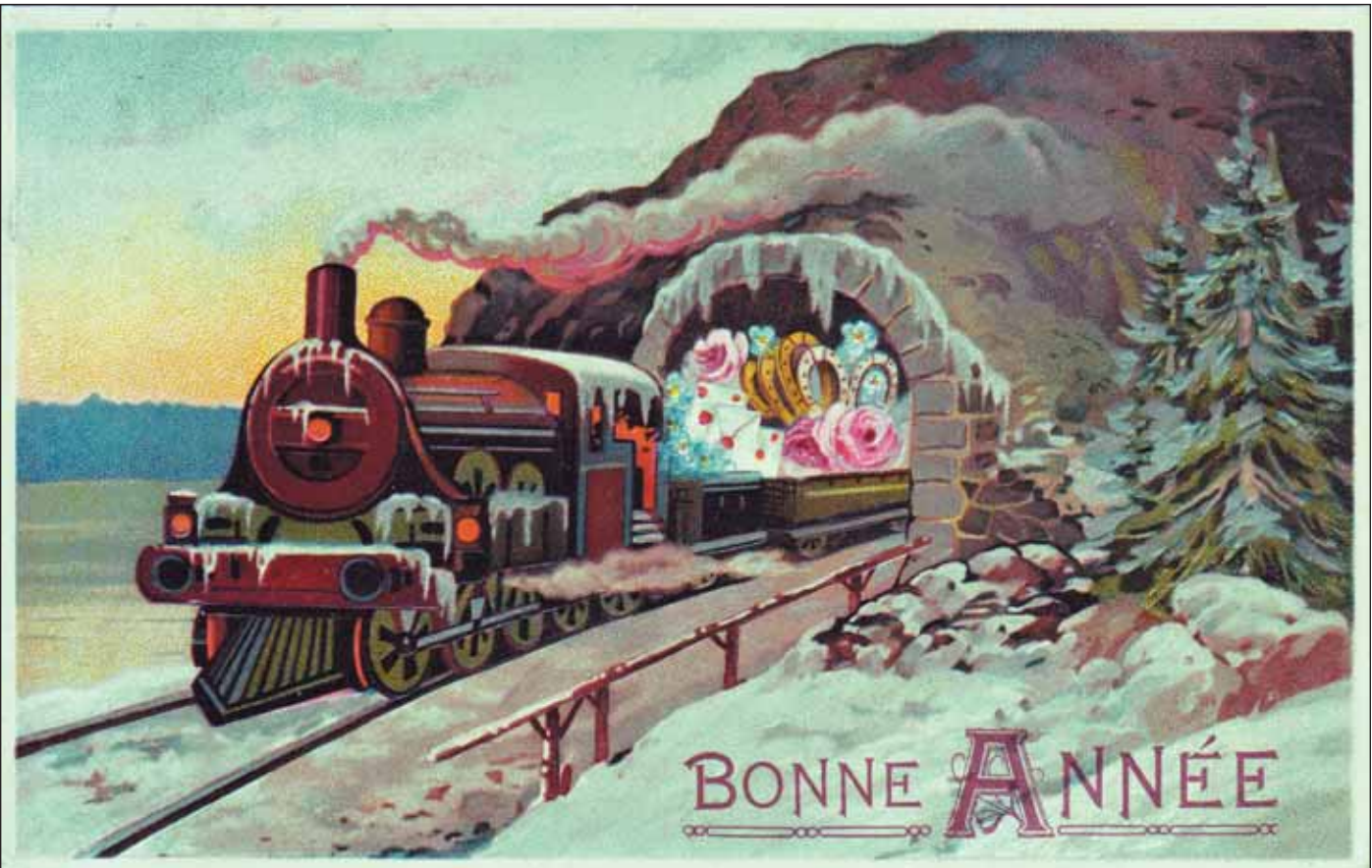
ZAKLĀDĀNĪ STAVEB®

ZAKLĀDĀNĪ STAVEB, A. S., K JEZU 1,
143 01 PRAHA 4 - MODŘANY, ZAKLADANI.CZ



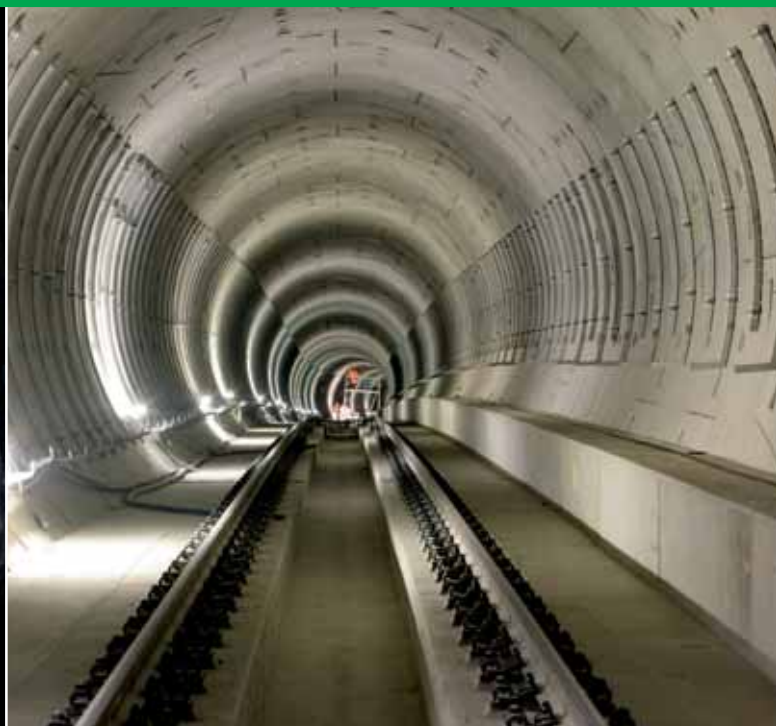
Tunel Prešov na slovenské dálnici D1: provádění mikropilotového deštníku na pravé tunelové troubě východního portálu tunelu

**Redakce časopisu Tunel přeje všem svým čtenářům jen to nejlepší do roku 2021.
The editorial staff of TUNEL journal wishes all its readers the very best in 2021.**



Belgická tlačená pohlednice, vydána okolo 1920. Pohlednici laskavě poskytl doc. Ing. Vladislav Horák, CSc., spoluautor seriálu o pohlednicích s tematikou podzemních staveb.

Belgian embossed postcard, published about 1920. The postcard was kindly loaned by doc. Ing. Vladislav Horák, CSc., Co-author series about postcards with the theme of underground structures.



Umění spolupráce

Kvalita, přesnost a důslednost v každém detailu.
Společná koordinovaná práce lidí desítek oborů a profesí.
Schopnost řešit náročná zadání a odvaha hledat nová řešení.
Je tohle umění? Možná ne. Jen to dobře umíme.

www.metrostav.cz

METROSTAV