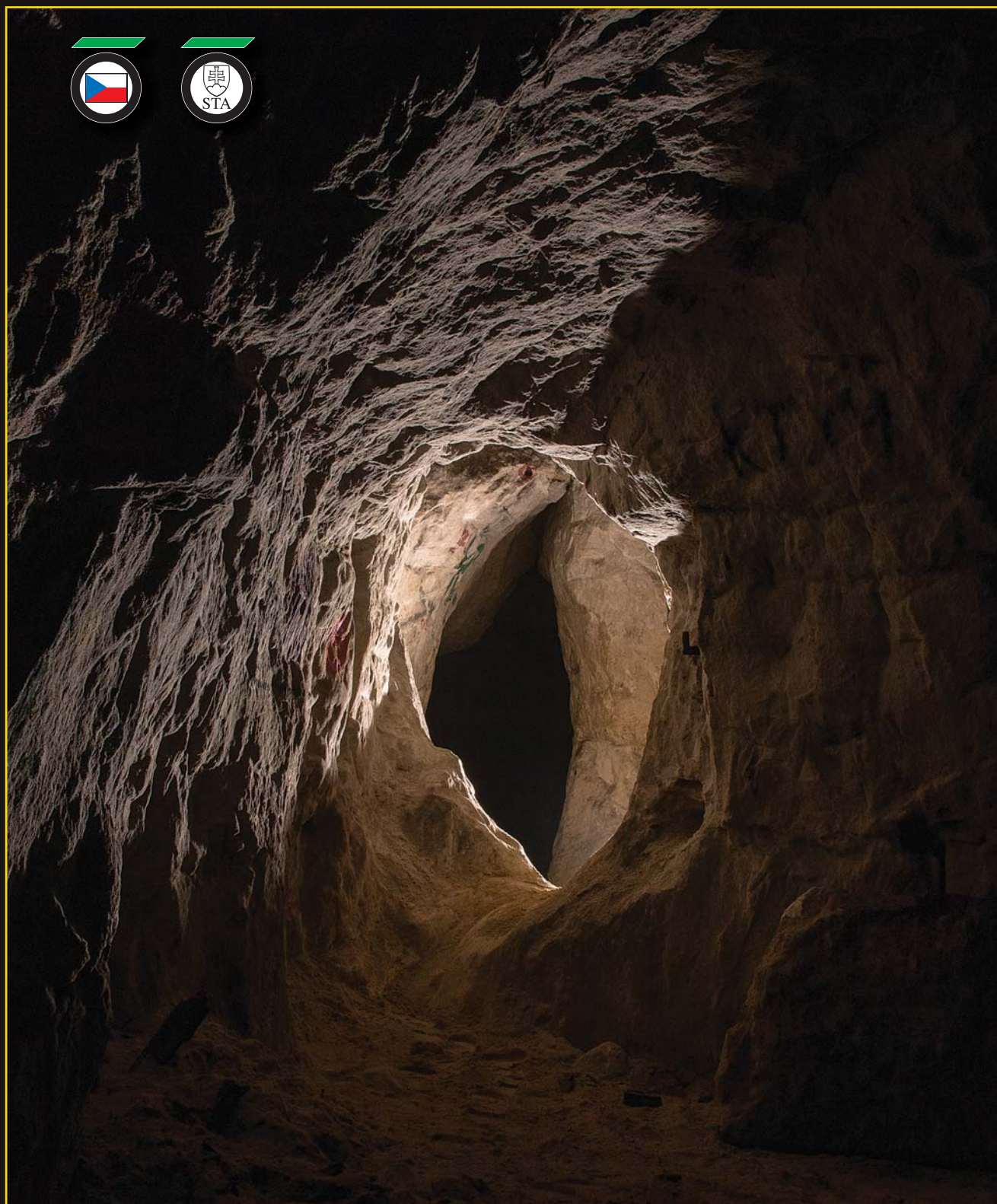


TuM eI

č. 4
2018

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



Inovace v rámci tradice

Naši celosvětoví odborníci přijímají výzvy na českém trhu jiným způsobem již 25 let. Ať už jde o realizaci drobných geotechnických konstrukcí nebo o návrh rozsáhlých tunelových staveb, na každém projektu obohacujeme tradiční řešení o nové přístupy.

Opening opportunities with connected thinking.

mottmac.com



Podzemní stavby (vývoj, výzkum, navrhování, realizace)

Časopis České tunelářské asociace a Slovenskej tunelárskej asociácie ITA-AITES

Založen Ing. Jaroslavem Gránem v roce 1992

OBSAH

doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D., členka redakční rady časopisu Tunel	1
Úvodníky:	
Ing. Radko Bucek, generální ředitel Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.	2
prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc., děkan Fakulty stavební VUT v Brně	3
Ražba pod centrem Los Angeles	
Carlos Herranz Calvo, M.Sc., Los Angeles, Derek Penrice, M.Sc., C.Eng., San Ramon, Mott MacDonald, California, United States	4
Využití pokročilého materiálového modelu pro stříkaný beton tunelových staveb	
doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D., Ing. Juraj Chalmovský, Ph.D., Ing. Pavel Koudela, Ústav geotechniky, Fakulta stavební, VUT v Brně	15
Geotechnická laboratoř ve výzkumném centru AdMaS	
Ing. Martin Závacký, Ing. et Ing. Jan Štefaňák, Ph.D., Ústav geotechniky, Fakulta stavební, VUT v Brně	23
Projekt „Zpřístupnění historického podzemí Proseka“	
Jan Kamenický	30
Fotoreportáž ze zkoušek detekce požáru a funkce požárního větrání v Tunelovém komplexu Blanka	38
Fotoreportáž ze slavnosti při příležitosti prérážky dialhičného tunela Višňové dňa 13. 9. 2018	39
Fotoreportáž z výstavby tunela Prešov	40
Fotoreportáž z exkurze ÖGG na tunel Semmering, úsek Fröschnitzgraben	41
Ze světa podzemních staveb	49
Zprávy z tunelářských konferencí	50
Aktuality z podzemních staveb v České a Slovenské republice	60
Z historie podzemních staveb	67
Výročí	70
Zpravodajství České tunelářské asociace ITA-AITES	71

REDAKČNÍ RADA/EDITORIAL BOARD

Čeští a slovenští členové / Czech and Slovak members

prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. – Stavební fakulta ČVUT v Praze (předseda/Chairman)
 Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D. – GEOTest, a.s.
 Ing. Miloslav Frankovský – Terraprojekt a.s.
 prof. Ing. Matouš Hilar, MSc., Ph.D., CEng., MICE – 3G Consulting Engineers s.r.o.
 doc. Ing. Vladislav Horák, CSc. – VUT Brno, FAST
 doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D. – VŠB-TU Ostrava
 RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D. – PUDIS a.s.
 Ing. Viktória Chomová – STA
 Ing. Jan Korejščík – Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.
 Ing. Otakar Krásný – GeoTec-GS, a.s.
 Ing. Ján Kušnír – REMING CONSULT a.s.
 Ing. Libor Mařík – HOCHTIEF CZ a.s.
 Ing. Soňa Masarovičová – ŽU, Stav. fakulta
 Ing. Miroslav Novák – METROPROJEKT Praha a. s.
 doc. Dr. Ing. Jan Pruška – Stavební fakulta ČVUT v Praze
 Ing. Boris Šebesta – Metrostav a.s.
 Ing. Michal Šerák – Inženýring dopravních staveb a.s.
 doc. Ing. Richard Šňupárek, CSc. – Ústav geoniky AVČR v.v.i.
 Ing. Pavel Šourek – SATRA, spol. s r.o.

VYDAVATEL

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

DISTRIBUCE

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

REDAKCE

Dělnická 12, 170 00 Praha 7, tel.: +420 702 062 610
 e-mail: pruskova@ita-aites.cz
 web: http://www.ita-aites.cz
 Vedoucí redaktor: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.
 Odborní redaktori: doc. Dr. Ing. Jan Pruška, Ing. Pavel Šourek,
 RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D., Ing. Jozef Frankovský
 Grafické zpracování: DTP Martin Pek, nám. T. G. Masaryka 737, 290 01 Poděbrady
 Tisk: H.R.G. spol. s r. o., Litomyšl
 Foto na obálce: Prosecký šnýdr (foto Jan Kamenický)

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:

doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D., a member of the Editorial Board	1
Ing. Radko Bucek, Managing Director of Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.	2
prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc., Dean of the Faculty of Civil Engineering of the University of Technology in Brno	3
Mining under Downtown Los Angeles	
Carlos Herranz Calvo, M.Sc., Los Angeles, Derek Penrice, M.Sc., C.Eng., San Ramon, Mott MacDonald, California, United States.	4
Application of Advanced Material Model for Shotcrete Tunnel Structures	
doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D., Ing. Juraj Chalmovský, Ph.D., Ing. Pavel Koudela, Ústav geotechniky, Fakulta stavební, VUT v Brně	15
Geotechnical Laboratory at the AdMaS Research Centre	
Ing. Martin Závacký, Ing. et Ing. Jan Štefaňák, Ph.D.	23
“Making Prosek Historic Underground Accessible” Project	
Jan Kamenický	30
Picture Report from Testing the Fire Detection and Fire Ventilation Function in the Blanka Complex of Tunnels	38
Picture Report from Ceremonial Breakthrough of Višňové Motorway Tunnel on 13th September 2018	39
Picture Report from the Construction of the Prešov Tunnel	40
Picture Report from ÖGG Excursion to Semmering Tunnel, Fröschnitzgraben Section	41
The World of Underground Constructions	49
News from Tunnelling Conferences	50
Current News from the Czech and Slovak Underground Construction	60
From the History of Underground Constructions	67
Anniversaries	70
Czech Tunneling Association ITA-AITES report	71

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.

Zahraníční členové / International members

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

PUBLISHED FOR SERVICE USE

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

DISTRIBUTION

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

OFFICE

Dělnická 12, 170 00 Praha 7, tel./fax: +420 266 793 479
 e-mail: pruskova@ita-aites.cz
 web: http://www.ita-aites.cz
 Editor-in-chief: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.
 Technical editors: doc. Dr. Ing. Jan Pruška, Ing. Pavel Šourek,
 RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D., Ing. Jozef Frankovský
 Graphic designs: DTP Martin Pek, nám. T. G. Masaryka 737, 290 01 Poděbrady
 Printed: H.R.G. spol. s r. o., Litomyšl
 Cover photo: Prosek shelter (photo Jan Kamenický)

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

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

CZTA:

Čestní členové:

Prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc.
Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.
Ing. Jindřich Hess, Ph.D.
Ing. Karel Matzner
Ing. Pavel Mařík (†)

Členské organizace:

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

AMBERG Engineering Brno, a.s.
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. Poděštil 1875/17
708 33 Ostrava-Poruba

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.
Národní 984/15
110 00 Praha 1

OHL ŽS, a.s.
Burešova 938/17
602 00 Brno-Veveří

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

PRAGOPROJEKT, a.s.
K Ryšánci 1668/16
147 54 Praha 4

Promat s.r.o.
V. P. Čkalova 22/784
160 00 Praha 6

PUDIS a.s.
Nad vodovodem 2/3258
100 31 Praha 10

ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR
Čerčanská 12
140 00 Praha 4

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

SATRA, spol. s r.o.
Sokolská 32
120 00 Praha 2

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

SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ
RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ
Dlážděná 1004/6
110 00 Praha 1-Nové Město

Subterra a.s.
Koželužská 2246/5
180 00 Praha 8 - Libeň

SUDOP PRAHA a.s.
Olšanská 2643/1a
130 80 Praha 3

SŽDC, s. o.
Dlážděná 1003/7
110 00 Praha 1

UNIVERZITA PARDUBICE
Dopravní fakulta Jana Pernera
Studentská 95
532 10 Pardubice

ÚSTAV GEOLOGICKÝCH VĚD
Přírodovědecká fakulta
Masarykovy univerzity v Brně
Kotlářská 267/2
611 37 Brno

ÚSTAV GEONIKY AV ČR, v.v.i.
Studentská ul. 1768
708 00 Ostrava-Poruba

VIS, a.s.
Bezová 1658
147 01 Praha 4

Zakládání Group a.s.
Thámová 181/20
186 00 Praha 8

STA:

Čestní členovia:

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

Členské organizácie:

Alfa 04 a.s.
Jašíkova ul. 6
821 03 Bratislava

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

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

BASF Slovensko, 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 ul. 27
826 56 Bratislava

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

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

GEOCONSULT, spol. s r.o.
Tomášikova 15950/10E
821 03 Bratislava

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

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

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

Hydrosanin spol. s r.o.
Polnohospodarov 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 Kovo, s.r.o.
č.d. 1279
023 55 Vysoká nad Kysucou

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

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

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

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

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

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

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

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

Prírodovedecká fakulta UK
Katedra inžinierskej geológie
Mlynská dolina G
842 15 Bratislava

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

RENESCO a.s.
Panenská 13
811 03 Bratislava

Sika Slovensko, spol. s r.o.
Rybničná 38/e
831 06 Bratislava

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

Slovenská správa ciest
Miletičova ul. 19
826 19 Bratislava

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

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

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

STRABAG s.r.o.
Mlynské nivy 4963/56
821 05 Bratislava

STU, Stavebná fakulta
Katedra geotechniky
Radlinského 11
813 68 Bratislava

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

Terraprojekt a.s.
Podunajská 24
821 06 Bratislava

TU fakulta BERG, Košice
Katedra dobývania ložísk a geotechniky
Katedra geotech. a doprav. staviteľstva
Letná ul. 9
042 00 Košice

TUBAU, a. s.
Bytčická 89
010 09 Žilina

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

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

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

Ústav geotechniky SAV Košice
Watsonova ul. 45
043 53 Košice

VÁHOSTAV – SK a.s.
Hlinská 40
010 18 Žilina

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

Železnice Slovenskej republiky
Klemensova 8
813 61 Bratislava

ŽU Stavebná fakulta
Katedra geotechniky
Katedra technológií
a manažmentu stavieb
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Vážení čtenáři,

dostává se vám do rukou poslední letošní číslo časopisu Tunel. Asi každého z nás zaujme v tomto čísle problematika ražby rozsáhlé kaverny kolejových spojek pod centrem Los Angeles. Účast českých tunelářů na výstavbě významných podzemních staveb v zahraničí dokumentuje, že jsou české tunelářské firmy ve světě žádané a respektované. Určitě si všichni přejeme, aby pracovníci tunelářských firem mohli uplatnit a dále rozvíjet tyto zkušenosti i v rámci České republiky při přípravě a realizaci nových podzemních staveb.



Toto číslo časopisu však také prezentuje velmi zajímavý příspěvek spojený s podzemním stavitelstvím v České republice – připravovaný výjimečný projekt zpřístupnění historického podzemí pražského Proseka. Tato unikátní soustava podzemních děl opředená mnoha pověstmi a legendami by jistě zaujala mnoho návštěvníků a přispěla by i ke zvýšení zájmu mladé generace o problematiku podzemního stavitelství, což je vzhledem k současnému nedostatku kvalitních mladých odborníků v této oblasti na trhu práce velmi aktuální.

V předchozích číslech časopisu prezentovaly svou pedagogickou a vědecko-výzkumnou činnost v předmětné oblasti stavební fakulty v Praze a v Ostravě, které zajišťují vzdělávání a výchovu mladé generace i v oblasti geotechniky a podzemního stavitelství. V tomto čísle se seznámíme s činností Ústavu geotechniky Stavební fakulty VUT v Brně, a to jak v oblasti pokročilého numerického modelování stříkaného betonu, tak i v oblasti testování zemin a hornin ve vědecko-výzkumném centru AdMas.

V souvislosti s pedagogickou i vědecko-výzkumnou činností na vysokých školách patří velký dík i spolupracujícím firmám, jejichž aktivity různého charakteru přispívají k těsnějšímu propojení vědecko-výzkumných aktivit vysokých škol s potřebami praxe, umožňují zvýšit propojení teoretické a praktické výuky a dokumentovat perspektivní uplatnění budoucích absolventů v oblasti geotechniky a podzemního stavitelství.

Milí čtenáři časopisu Tunel, protože se blíží závěr roku 2018, dovoluji mi popřát vám všem jménem celé redakční rady do nového roku hodně zdraví, osobní spokojenosti a pracovních úspěchů.

doc. RNDr. EVA HRUBEŠOVÁ, Ph.D., členka redakční rady

Dear readers,

You are getting this year's latest issue of TUNEL journal in your hand. Problems of excavation of a large cavern for track crossovers under the centre of Los Angeles will probably attract attention of each of us. Participation of Czech tunnellers in the exhibition of important underground structures abroad documents that Czech tunnel construction firms are sought and respected in the world. Certainly we all wish that employees of tunnel construction companies can exercise and further develop this experience even in the Czech Republic, in the preparation and realisation of new underground construction projects.

This issue of our journal presents, among others, a very interesting contribution associated with the underground construction industry in the Czech Republic – an extraordinary project for making the historic underground spaces in the Prague cadastral district of Prosek accessible for the public. This unique system of underground workings, which is emblazoned with numerous legends, would certainly capture attention of many visitors and would contribute to increasing the interest of the young generation in problems of the underground construction industry, which is currently a serious issue with respect to the lack of good quality young professionals in this field of the job market.

In previous journal issues, the civil engineering faculties in Prague and Ostrava, providing education of the young generation even in the field of geotechnics and underground construction engineering, presented their teaching and scientific-and-research activities in the particular area. In this issue, we will get acquainted with the activities of the Geotechnical Institute of the Faculty of Civil Engineering of the Brno University of Technology not only in the field of advanced numerical modelling of sprayed concrete, but also in the field of testing of soils and rock at the AdMas scientific-research centre.

In connection with the teaching and scientific-research activities of universities, great thanks go even to collaborating companies, the different-character activities of which contribute to forming closer links between scientific research activities of universities with the needs of practice, allow for increasing the links between theoretical and practical education and documenting the prospective use of future graduates in the field of geotechnics and underground construction industry.

Dear readers of TUNEL journal, with respect to the fact that the end of 2018 is approaching, allow me to wish you all on behalf of the whole editorial board great health, personal satisfaction and professional success in the New Year.

doc. RNDr. EVA HRUBEŠOVÁ, Ph.D., Member of the Editorial Board



VÁŽENÉ KOLEGYNĚ A KOLEGOVÉ,

nejdříve mi dovoluji krátkou informaci o naší firmě v Čechách. Krátkou proto, že se od poslední příležitosti, kdy jsem měl možnost vás oslovit, nic zásadního nezměnilo. Je nás stále kolem 130 a stále se zabýváme tunely, železnicemi, silnicemi a mosty.

Zajímavější je však změna, ke které došlo v organizaci naší matky, nadnárodní firmy Mott MacDonald Group. Dovolím si u této změny zastavit trochu déle, protože může být zajímavá i pro náš trh, včetně tunelů, neboť se stejnou cestou ubírá řada dalších mezinárodních firem. Navíc se ukazuje, že je tato cesta může přivést i na český trh.

O co se jedná. Nejužší vedení firmy Mott MacDonald se, po analýze provedené mezinárodními poradci z velké pětky, rozhodlo založit v rámci firmy takzvané design centrum. Do tohoto design centra v tuto chvíli spadá na 400 inženýrů z Indie a 200 inženýrů z Bulharska, Maďarska, Čech a Polska. S výjimkou Čech, kde je firma rozdělena na dvě části, jsou inženýři ze všech zbývajících zemí design centra dedikováni pro potřeby Mott MacDonald Group, a na vlastním trhu nepodnikají. Důvod je z pohledu Mott MacDonald Group zjevný. Zatímco obraty a zisky na levných trzích nejsou pro Mott MacDonald důležité, použitím velmi kvalitních inženýrů, často s méně než polovičními platy, mohou zvýšit konkurenceschopnost na trzích, které jsou pro obrat firmy zásadní.

Stejná politika již umožnila francouzské firmě EGIS velmi agresivně soutěžit na našem trhu v oblasti vysokorychlostních železnic. Nicméně, design centra v Rumunsku, Polsku, Bulharsku, Indii a dalších „low cost“ destinacích má celá řada mezinárodních firem. Kromě EGIS a Mott MacDonald, také Systra, Arcadis, Arup, Aecom, Atkins a zcela jistě i další.

Vzhledem k výhledu financování z EU, výhledu růstu naší ekonomiky, a především vzhledem k rapidnímu nárůstu podílu mandatorních výdajů na národním důchodu, si řada firem u nás uvědomuje, že bude muset v budoucnosti soutěžit i na zahraničních trzích. Z důvodů uvedených výše však nemusí být finanční výhoda daná našimi nižšími platy až tak rozhodující, jak by se mohlo zdát, a postup na zahraniční trhy a jeho plánování bude třeba velmi dobře promyslet.

Do tohoto čísla přispíváme článkem o ražené kaverně v centru Los Angeles, která bude po svém dokončení největším raženým dílem v tomto americkém městě.

**DEAR COLLEAGUES,**

First allow me to briefly inform you about our company in the Czech Republic. It is brief because of the fact that nothing fundamental has changed since the last opportunity I had to for addressing you. Our team still consists of about 130 persons and we are still engaged in tunnels, railways, roads and bridges.

But the change in the organisation of our mother, the multinational company Mott MacDonald Group, is more interesting. Kindly let me deal with this change a little longer because it can be interesting even for Czech market, including tunnels, because many other international companies take the same path. In addition, it turns out that this path can bring them even to the Czech market.

What it is about. After an analysis conducted by international advisers from the Big Five, Mott MacDonald's narrowest management decided to establish the so-called design centre within the framework of the firm. At the moment, 400 engineers from India and 200 engineers from Bulgaria, Hungary, Czechia and Poland come under the design centre. With the exception of Czechia, where the company is divided into two parts, the engineers from all remaining countries forming the design centre are dedicated for the needs of the Mott MacDonald Group and do not do business in their markets. From the perspective of the Mott MacDonald Group, the reason is obvious. Whilst turnovers and profits on cheap markets are not important for the Mott MacDonald Group, it can increase its competitiveness on the markets which are crucial for the turnover of the firm by using high-quality engineers with often less than half the salaries.

The same policy has already allowed the French company of EGIS to compete very aggressively on Czech market in the field of high-speed railways. Nevertheless, design centres are operated in Romania, Poland, Bulgaria, India and other low-cost destinations by numerous international firms. Apart from EGIS and Mott MacDonald, also by Systra, Arcadis, Arup, Aecom, Atkins and certainly also by others.

Taking into consideration the prospect of funding from the EU, the prospect of the growth of Czech economy and, above all, with respect to the rapid increase in the share of the mandatory expenses in the national income, many firms in the Czech Republic realise that they will have to compete even in foreign markets. However, for the above-mentioned reasons, the financial advantage following from lower salaries in the Czech Republic does not have to be as deciding as it could seem to be and the advancement to foreign markets and its planning will have to be very well thought out.

In this journal issue we publish the article about a cavern mined in the centre of Los Angeles, which will become the largest mined working in this American city after its completion.

ING. RADKO BUCEK, PH.D.

*generální ředitel Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.
Managing Director of Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.*

VÁŽENÉ ČTENÁŘKY, VÁŽENÍ ČTENÁŘI,

Fakulta stavební VUT v Brně oslaví v roce 2019 již 120. výročí svého založení. Jsem rád, že vás mohu při této příležitosti oslovit a ohlédnout se do její historie a zapřemýšlet nad její současností a budoucností. Historie fakulty je těsně spjata s historií VUT, jež bylo založeno v téže roce, kdy 19. září 1899 byla nejvyšším rozhodnutím císaře a krále Františka Josefa I. zřízena c. k. česká technická vysoká škola Františka Josefa v Brně. Dne 1. listopadu 1899 byla zahájena výuka v oboru stavebního inženýrství, od následujícího roku v kurzu vzdělávání zeměměřičů. Výuka v areálu na Veveří ulici probíhala od studijního roku 1911/1912.

Obor stavební inženýrství obsahoval dva směry: konstruktivní a dopravní; vodohospodářský a kulturní. Dále byly postupně využívány obory architektura a pozemní stavitelství a zeměměřičské inženýrství. V období 2. světové války byla brněnská technika uzavřena. Po roce 1945 byla škola obnovena pod názvem Vysoká škola technická Dr. Edvarda Beneše v Brně. Jejím fakultami byly, mimo jiné, Fakulta inženýrského stavitelství a Fakulta architektury a pozemního stavitelství.

V roce 1951 byla škola zrušena. Ještě téhož roku se podařilo založit Vysokou školu stavitelství v Brně se dvěma fakultami – Fakultou inženýrského stavitelství a Fakultou architektury a pozemního stavitelství a později i oborem geodézie a kartografie.

Dne 24. července 1956 vzniklo Vysoké učení technické v Brně se třemi fakultami: Fakultou inženýrského stavitelství, Fakultou architektury a pozemního stavitelství a Fakultou energetickou. V roce 1960 byly obě stavební fakulty sloučeny do Fakulty stavební. V roce 1992 se Fakulta stavební vrátila do svých původních historických prostor na Veveří ulici.

V současnosti je Fakulta stavební největší a historicky nejstarší fakultou Vysokého učení technického v Brně, které je tvořeno osmi fakultami. Je členěna na 22 ústavů, které zajišťují pedagogickou, vědecko-výzkumnou a doplňkovou činnost. Fakulta disponuje Knihovnickým informačním centrem, které plní zejména funkci zabezpečování informační podpory výuky, studia, vědy a výzkumu a zpřístupňování všech typů informačních zdrojů.

Významnou součástí fakulty je regionální výzkumné Centrum AdMaS – Advanced Materials, Structures and Technologies, které vzniklo díky finanční podpoře z operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace. Realizace projektu byla zahájena v roce 2011. V letech 2012 až 2014 probíhala výstavba centra, jehož plný provoz byl zahájen počátkem roku 2015. AdMaS je moderním centrem vědy a výzkumu v oblasti stavebnictví. Je koncipováno jako navzájem propojený celek sestávající ze dvou výzkumných programů: „Vývoj pokročilých stavebních materiálů“ a „Vývoj pokročilých konstrukcí a technologií“. Zaměřuje se na výzkum, vývoj a aplikace pokročilých stavebních materiálů, konstrukcí a technologií nejen v oblasti stavebnictví, ale i dopravních systémů a infrastruktury měst a obcí. Disponuje moderním laboratorním zázemím se špičkovým vybavením s více než 250 přístroji. Doba udržitelnosti projektu skončí 31. prosince 2019, zajištění provozu centra po tomto datu je jeden z klíčových momentů budoucího fungování fakulty.

Nabízím čtenářkám a čtenářům časopisu těsnou a oboustranně výhodnou spolupráci s fakultou, a to jak v oblasti získávání nových poznatků z vědy a výzkumu, tak v oblasti praktické spolupráce při řešení úkolů praxe. Věřím, že tato spolupráce bude oboustranně prospěšná.

**DEAR READERS,**

The Faculty of Civil Engineering of the University of Technology in Brno will celebrate the already 120th anniversary of its foundation in 2019. I am happy that I can address you on this occasion, to look back into its history and ruminate about its presence and future. The history of the faculty is closely related to the history of the University of Technology, which was founded on the 19th September 1899 by Emperor and King's highest decision in the same year, when the Imperial and Royal Franz Joseph's Czech University of Technology was established in Brno. Teaching in the field of civil engineering commenced on the 1st November 1899 and teaching in the course for education of surveyors started the following year. Teaching in the premises on Veveří Street proceeded from the school year 1911/1912.

The civil engineering field of study comprised two directions: structures and transport; water management and culture. Further on, architecture and building and topographical surveying were gradually taught. During World War II, the Brno University was closed. After 1945 the university was renewed under the name of Dr. Edvard Beneš's University of Technology in Brno. The Faculty of Civil Engineering and the Faculty of Architecture and Building were among its faculties.

In 1951, the school was dissolved. The same year, they managed to found the University of Civil Engineering and Building in Brno comprising two faculties – the Faculty of civil Engineering and the Faculty of Architecture and Building and, later, even Surveying and cartography.

The University of Technology in Brno originated on the 24th July 1956. It had three faculties: the Faculty of Civil Engineering, the Faculty of Architecture and Building and the Faculty of Power Engineering. In 1960, two construction-related faculties merged and formed the Faculty of Civil Engineering. In 1992, the Faculty of Civil Engineering returned to its original historic premises in Veveří Street.

Currently the Faculty of Civil Engineering is the largest and historically oldest faculty of the University of Technology in Brno. It is divided into 22 institutes providing teaching, scientific-research and complementary activities. The faculty has a Library Information Centre fulfilling first of all the function of providing information support for teaching, studies and research and making all types of information sources accessible.

An important part of the faculty is represented by the AdMaS Advanced Materials, Structures and the Technologies regional research centre, which originated thanks to the financial support from the operational programme Research and Development for Innovation. The project realisation commenced in 2011. The development of the centre continued from 2012 to 2014. The full operation started at the beginning of 2015. The AdMaS is a modern scientific and research centre in the field of civil engineering industry. It is conceived as a mutually interconnected block consisting of two important programmes: "Development of Advanced Building Materials" and "Development of advanced Structures and Technologies". It is focused on research, development and application of advanced building materials, structures and technologies not only in the field of the construction industry, but also in the field of traffic systems and infrastructures of towns and municipalities. It has a modern laboratory background with top equipment comprising 250 apparatuses. The sustainability of the project will end on the 31st December 2019; securing the operation of the centre after this date is one of critical moments of the future functioning of the Faculty.

I offer the journal readers close collaboration with the faculty, beneficial for both parties both in the field of gaining new knowledge from the science and research and the field of practical collaboration in solving problems of the praxis. I believe that this collaboration will be mutually beneficial.

PROF. ING. MIROSLAV BAJER, CSC.

děkan Fakulty stavební VUT v Brně

Dean of the Faculty of Civil Engineering of the University of Technology in Brno

RAŽBA POD CENTREM LOS ANGELES MINING UNDER DOWNTOWN LOS ANGELES

CARLOS HERRANZ CALVO, DEREK PENRICE

ABSTRAKT

Projekt regionálního tranzitního propojení (RCTP) Dopravního podniku metropolitní oblasti Los Angeles (Metro) v centru Los Angeles je 3,1 km dlouhá linka lehké železnice, která propojí stávající trasy za účelem zlepšení dopravního spojení v centru města i v příměstských oblastech Los Angeles. Technicky nejsložitější částí projektu je ražená kaverna kolejových spojek, umístěná pod ulicí 2nd Street mezi ulicemi Spring Street a Main Street. Kaverna je v současné době ve výstavbě pomocí metody cyklického ražení (SEM) a bude mít délku 87,5 m, šířku 17,7 m a výšku 11 m. Tato masivní kaverna (po dokončení největší ražené dílo v Los Angeles) se nachází v relativně malé hloubce pod stávající infrastrukturou, včetně významných inženýrských sítí a historických budov, navíc v seismicky aktivní oblasti. Článek popisuje integrovaný přístup pro geostatický návrh a provádění stavby, vyvinutý s cílem maximalizovat produktivitu výstavby a současně zajistit stabilitu a provozuschopnost stávající infrastruktury.

ABSTRACT

The Los Angeles County Metropolitan Transportation Authority's (Metro) Regional Connector Transit Project (RCTP) in Downtown Los Angeles is a 3.1km light-rail line that will connect existing lines to improve mobility both within the downtown area and throughout greater Los Angeles County. The most technically complex aspect of the project is a mined crossover cavern located under 2nd Street between Spring and Main Streets. The cavern, currently under construction using the Sequential Excavation Method, will be approximately 87.5m long, 17.7m wide and 11m high. This massive cavern (once completed, will be the largest tunneled excavation in Los Angeles) is located at relatively shallow depth below existing infrastructure including significant utilities and historic buildings in a seismically active area. The article describes the integrated geo-structural design and construction approach developed to maximize construction productivity while ensuring the stability and performance of existing infrastructure.

POPIS PROJEKTU

Projekt regionálního tranzitního propojení společnosti Metro je 3,1 km dlouhá linka lehké železnice, která výrazně zlepší dopravní spojení v centru města i v příměstských oblastech Los Angeles. Projekt přímo propojí stávající Zlatou linku metra s Modrou a Expo linkou, což umožní bezpřestupovou cestu lehkou železnici z Azusy přes centrum Los Angeles do Long Beach, případně ze Santa Moniky do východního Los Angeles. Umožní také přímý přestup na Červenou a Fialovou linku metra. Trasa i přestupy na stávající linky jsou ukázány na obr. 1. Zakázku Design and Build (navrhni a postav) v hodnotě 927 milionů dolarů získalo v roce 2014 sdružení firem Skanska a Traylor Brothers, pod názvem Regional Connector Constructors (RCC). Mott MacDonald (MM) je generální projektant tohoto sdružení. Projekt začal přeložkami inženýrských sítí na začátku roku 2015 a měl by být dokončen v roce 2021.

PROJECT DESCRIPTION

Metro's Regional Connector Transit Project is a 3.1km light-rail line that will greatly improve mobility within the downtown area and throughout greater Los Angeles County. The project will directly connect the existing Metro Gold Line to its Blue and Expo lines, enabling one-seat travel by light-rail from Azusa through downtown Los Angeles to Long Beach or from Santa Monica to East Los Angeles, and will accommodate in-station transfers to Metro's Red and Purple lines. The project alignment and its connection to the existing lines is shown in Figure 1. The \$927-million design-build contract was awarded in 2014 to Regional Connector Constructors (RCC), a joint venture of Skanska and Traylor Brothers. Mott MacDonald (MM) is the principal designer of the joint venture. Advance utility relocation began in early 2015, and the project is due to be completed in 2021. In addition to the mined crossover cavern, the project features twin 1.6km-long bored tunnels; 1.1km of cut-and-cover tunnels; three underground stations to be constructed with cut-and-cover methods at 1st St/Central Ave, Historic Broadway and 2nd Place/Hope St, and 0.3km of at-grade alignment to facilitate Gold Line surface tie-ins.

The mined crossover cavern will be located adjacent to the east end of the future Historic Broadway Station, under 2nd Street between Spring and Main streets. The excavated dimensions of the cavern will be 87.5m long, 17.7m wide and 11.0m high. The challenges of excavating the cavern are compounded by overlying and adjacent infrastructure including a 3x3m horse-shoe shaped storm drain located 6.7m above the cavern crown and three buildings, including the



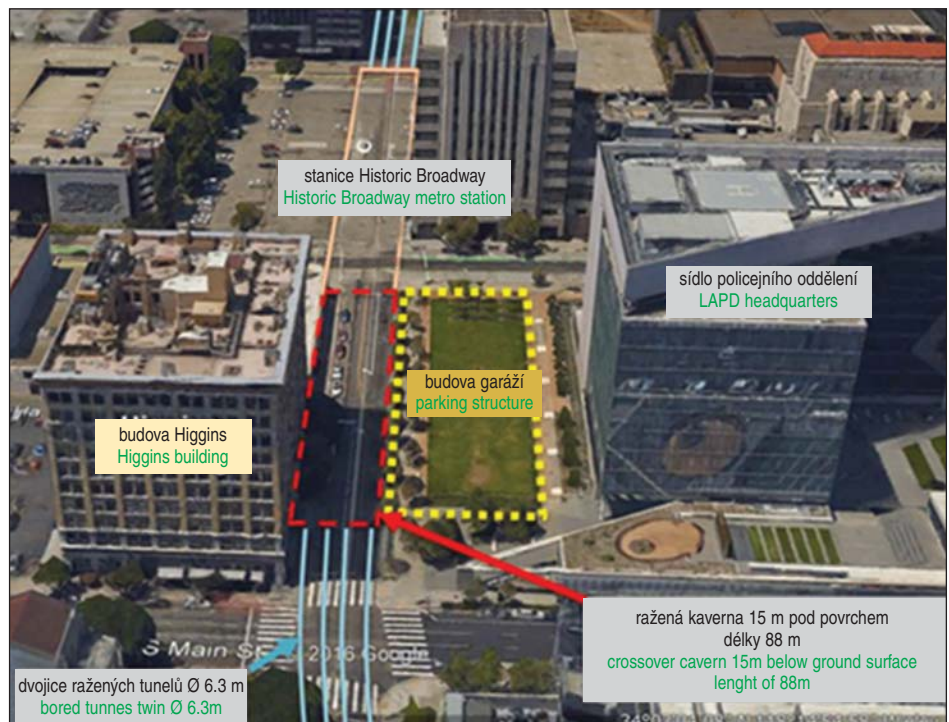
Obr. 1 Trasa projektu RCTP

Fig. 1 RCTP Project map

Kromě ražené kaverny kolejových spojek projekt zahrnuje dvojici ražených tunelů délky 1,6 km, hloubené tunely délky 1,1 km, tři hloubené stanice (1st St/Central Ave, Historic Broadway a 2nd Place/Hope St) a 0,3 km dlouhý povrchový úsek umožňující navázání na Zlatou linku.

Ražená kaverna kolejových spojek bude navazovat na východní konec stanice Historic Broadway, pod ulicí 2nd Street mezi ulicemi Spring Street a Main Street. Rozměry výrubu budou: délka 87,5 m, šířka 17,7 m a výška 11 m. Největší výzva při ražbě kaverny spočívá v přilehlé infrastruktuře v nadloží. Jedná se o podkovovitou štolu dešťové kanalizace s rozměry 3x3 m umístěnou 6,7 m nad klenbou kaverny a tři nadzemní objekty, včetně historické budovy Higgins a sídla policejního oddělení, které vyžadují přísnou kontrolu sedání způsobeného ražbou. Tyto stávající objekty jsou znázorněny na obr. 2.

Na obr. 3 je nedávný snímek znázorňující podzemní návaznost hloubené stanice Historic Broadway a ražené kaverny.



Obr. 2 Pohled na umístění ražené kaverny kolejových spojek
Fig. 2 SEM Crossover Cavern site view

GEOMETRIE KAVERNY

Podélný profil kaverny se svažuje směrem na jihovýchod ve sklonu 0,2 % v souladu s vertikálním trasováním kolejí. Nadmořská výška terénu v oblasti kaverny se pohybuje v rozmezí 86 až 87 m. Vrchol klenby kaverny je v nadmořské výšce cca 72 m v místě čelní stěny stanice a v nadmořské výšce cca 71,5 m na východním konci kaverny u rozhraní s raženými tunely.

Konstrukci kaverny tvoří primární ostění ze stříkaného vláknobetonu tloušťky 305 mm s pevností 34,5 MPa a sekundární monolitické betonové ostění pevnosti 28 MPa s minimální tloušťkou 457 mm v místech klenby a boků a s maximální tloušťkou cca 1,75 m v protiklenbě. Primární a sekundární ostění jsou odděleny membránou odolnou proti uhlíkovým kyselinám, která obsahuje vysokohustotní polyetylen (HDPE) tloušťky 2,5 mm, v souladu se standardními požadavky metra na hydroizolaci a protiplynovou izolaci.

Pro ražbu kaverny byly navrženy dva příčné řezy: typický profil, použitelný pro většinu délky kaverny, a zvětšený profil pro úsek délky 1,8 m na východním konci kaverny pro zajištění požadované šířky nouzového chodníku v úrovni temena kolejnice v místě traťového přechodu.

Definitivní konstrukce obsahuje pro účely ventilace středovou stěnu podpírající horizontální ventilační desku (mezistrop) s otvory na východní straně kaverny, v blízkosti rozhraní s raženými tunely,

historic Higgins Building and the LAPD Headquarters, requiring that excavation induced settlements are strictly controlled. These existing structures are shown in Figure 2.

Figure 3 is a recent picture of the construction site depicting the below grade relationship of the future Historic Broadway Station and the SEM Cavern.

CAVERN GEOMETRY

The alignment in the area slopes to the southeast at a 0.2% grade following the vertical track alignment. Ground surface elevation in the area of the cavern varies between elevations 283 and 285 feet. The cavern crown varies between elevations 235 feet (approx.) at the Station headwall and elevation 234.5 feet (approx.) at the east end of the cavern, at the interface with the bored tunnels.

The cavern structure comprises a 305mm (12 in) thick 34.5MPa (5000 psi) initial fiber reinforced shotcrete lining and a 28MPa (4000 psi) cast-in-place concrete final lining with a minimum thickness of 457mm (18 in) in the crown and walls and a maximum thickness of approximately 1.75m (5 ft 9 in) in the invert. The initial and final linings are separated by a hydrocarbon resistant membrane comprising 100 mils of high density polyethylene, in accordance with Metro's standard requirements for both waterproofing and gasproofing.



Obr. 3 Ražba kaverny, panoramatický pohled z hloubené stanice Historic Broadway
Fig. 3 SEM cavern construction, panoramic view from Historic Broadway Station cut-and-cover



Obr. 4 Vizualizace kaverny při pohledu ze stanice

Fig. 4 Rendered perspective of the cavern from within the station

kteří jsou přístupné z úrovně kolejí. Zahrnují také nouzové chodníky v úrovni podlahy vlaku na obou stranách kaverny, spojené traťovým přechodem na východním konci kaverny. Na obr. 4 je znázorněna vizualizace kaverny při pohledu ze stanice Historic Broadway. Zobrazuje hotové sekundární ostění, koleje převzaté z informačního modelu BIM vytvořeného firmou Mott MacDonald (bez kolejových spojek) a mezistrop.

GEOLOGIE

Trasa projektu prochází jihovýchodním koncem Elysian Park Hills a částí staré nivy řeky Los Angeles. Trasa zastihne navážky

Two initial support sections were developed for the cavern excavation: a typical section, which is applicable over the majority of the cavern length, and an enlarged section for the eastern 60 feet of the cavern to provide a required emergency walkway width at top-of-rail level at the track crosswalk location.

The permanent structure includes an overhead plenum slab and center wall for ventilation purposes, with track dampers on the east side of the cavern, close to the interface with the bored tunnels that are accessible from track level. It also includes car floor level emergency walkways on each side of the cavern connected by a track level crosswalk on the east end of the cavern. A rendered perspective from within the Historic Broadway Station looking towards the cavern showing the finished lining, rail infrastructure taken from the Mott MacDonald Building Information Management (BIM) model (excluding crossover), and plenum slab is shown in Figure 4.

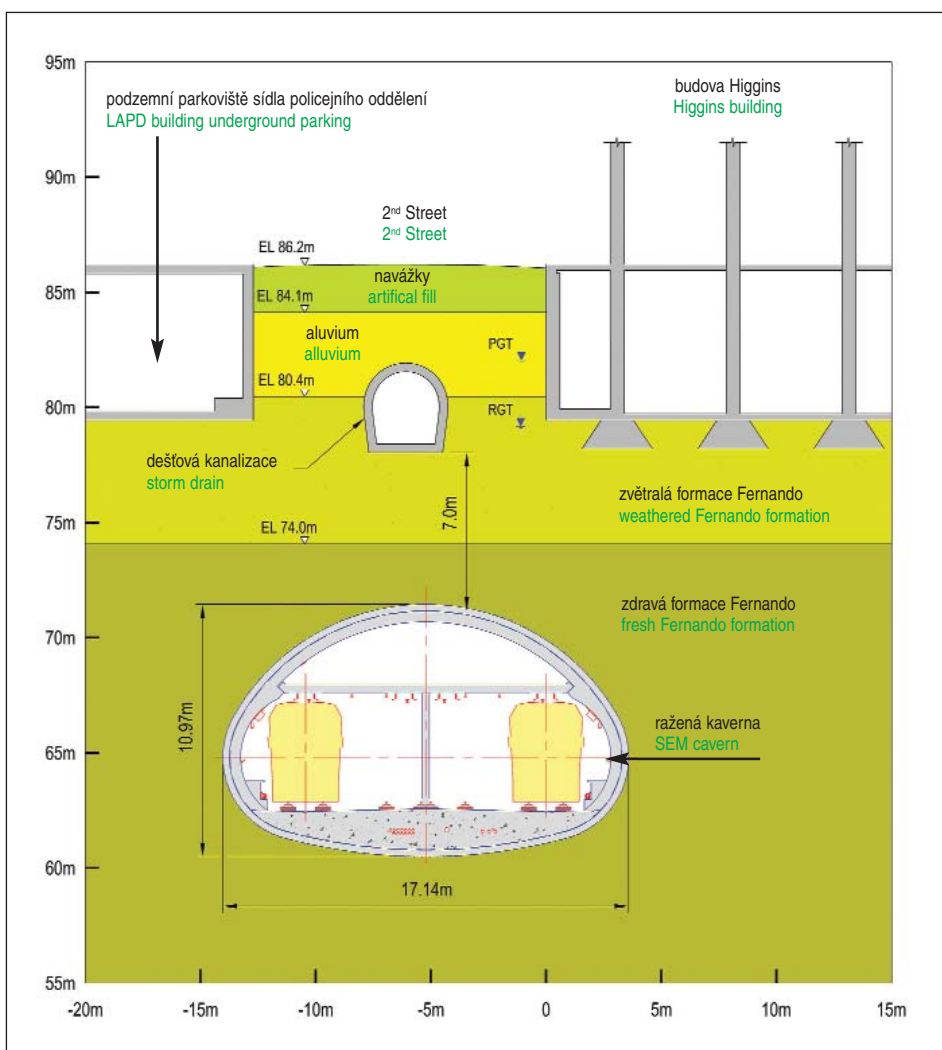
SITE GEOLOGY

The project alignment traverses the southeastern end of the Elysian Park Hills and a portion of the ancient Los Angeles River floodplain. The alignment will encounter artificial fill and geologic units that range in age from Miocene to Holocene, being the Fernando Formation a Pliocene-age sedimentary stratum. According to the Geotechnical Baseline Report (GBR, 2013), methane and hydrogen gases may be encountered during construction. To avoid potential intrusion of gases in the operational underground structures, the use of hydro-carbon resistant, gas-proof membranes is required.

The geologic setting in the SEM cavern area (see Figure 5) consists of 2 to 3m of artificial fill (Af), underlain by about 3 to 4.6m of coarse-grained alluvial deposits (Qal2). The coarse-grained alluvium is underlain by the Fernando Formation bedrock, an extremely weak to weak massive clayey siltstone. The Fernando Formation comprises an upper layer of moderately to highly weathered material, with a slightly weathered to fresh layer underneath. It is anticipated that the entire cavern will be excavated in more competent slightly weathered to fresh material.

A perched groundwater table (PGT) exists due to the low permeability of the Fernando Formation, it is located about 3m above the regional groundwater level (RGT), which in turn defines a hydraulic head over the cavern's crown of 8m. The ground conditions at the site are depicted in Figure 5, which also shows the proximity of the overlying buildings and storm drain. The cavern is being excavated in the Fernando Formation, a massive clayey siltstone, with the excavation face in fresh to moderately weathered ground under an overburden depth of approximately 15m.

Due to its low permeability, groundwater inflows into the cavern during construction will be primarily from



Obr. 5 Typický příčný řez

Fig. 5 Typical cross section

a geologické jednotky, jejichž stáří se pohybuje od miocénu po holocén, přičemž formace Fernando je sedimentární vrstvou z období pliocénu. Podle výchozí geotechnické zprávy (Geotechnical Baseline Report, 2013) se může během výstavby vyskytovat metan a vodíkové plyny. Aby se zabránilo potenciálnímu vniknutí plynů do provozních podzemních objektů, je nutné použití plynotěsné membrány odolné proti uhlovodíkům.

Geologický profil v oblasti kaverny se skládá z 2–3 m navážek (Af), pod nimiž se nachází cca 3–4,6 m hrubozrnných aluviálních (fluviálních) sedimentů (Qal2). Dále následuje podložní formace Fernando, neúnosný masivní jílovitý prachovec. Horní vrstvy formace Fernando jsou středně až vysoce zvětralé, spodní vrstvy navětralé až zdravé. Předpokládá se, že celá kaverna bude vyražena ve vhodnějším navětralém až zdravém masivu.

Kvůli nízké propustnosti formace Fernando leží lokální hladina podzemní vody (PGT) asi 3 m nad úrovní regionální hladiny podzemní vody (RGT), která je zaklesnuta 8 m nad vrcholem klenby kaverny. Geologické podmínky jsou znázorněny na obr. 5, který rovněž ukazuje blízkost budov v nadloží a dešťové kanalizace. Kaverna je ražena ve formaci Fernando, masivním jílovitým prachovci s čelbou ve zdravém až navětralém masivu a nadloží cca 15 m.

Vzhledem k nízké propustnosti masivu budou přítoky podzemní vody do kaverny během výstavby primárně z diskontinuit, s různým množstvím přítoků v závislosti na stupni rozpukání horninového masivu. Na základě počtu a charakteristik diskontinuit sledovaných na vrtných jádrech a také z okolních výkopů ve formaci Fernando se předpokládá, že celkové průsaky budou minimální a lokalizované. Tudíž návrh primárního ostění uvažuje neodvodněné chování masivu bez působení tlaku vody, zatímco návrh sekundárního ostění předpokládá odvodněné chování masivu s uvažováním hydrostatického tlaku pro statický výpočet.

Tabulka 1 obsahuje geotechnické parametry zohledněné v návrhu. Předpokládá se, že modul pružnosti formace Fernando se bude zvyšovat s hloubkou. Hodnoty vycházejí z presiometrických zkoušek in-situ, odvodněných triaxiálních zkoušek, korelace s geofyzikálním měřením rychlosti příčné vlny a lokálních zkušeností.

Seizmický návrh sekundárního ostění byl proveden dvouúrovňovým přístupem, zohledňujícím maximální návrhové zemětřesení (MDE) s návrhovým obdobím přibližně 2500 let a provozní návrhové zemětřesení (ODE) s návrhovým obdobím 150 let. Seizmické údaje pro návrh sekundárního ostění byly založeny na jednorozměrné analýze nedotčeného prostředí, specifické pro danou lokalitu, která byla provedena pomocí softwaru SHAKE.



Obr. 6 Prorážka do štoly ze šachty zobrazující formaci Fernando
Fig. 6 Adit breakout from shaft showing Fernando formation

discontinuities, with varying levels of discharge depending on the degree of rock mass fracturing. Based on the number and characteristics of discontinuities observed on boring cores and excavations on the Fernando Formation in the area, total infiltration is expected to be localized and minimal. Correspondingly, the initial lining design considered undrained ground behavior without acting water pressure, whereas the final lining design assumed drained ground behavior with hydrostatic pressure for static analyses.

Table 1 contains the geotechnical parameters considered in the design. The elasticity modulus of the Fernando Formation is assumed to increase with depth. The values are based upon in-situ pressuremeter tests, undrained triaxial tests, correlations with shear wave velocity measurements and local experience.

The seismic design of the final lining followed a two-level ground motion approach, considering a Maximum Design Earthquake (MDE) with a return period of approximately 2,500 years and an Operating Design Earthquake (ODE) with a return period of 150 years. Seismic data for the final lining design was based on site-specific one-dimensional free-field analysis performed with SHAKE software.

The design team had the opportunity to observe the massive and impermeable nature of the Fernando formation, as well as its standup time, during the construction of a nearby Tieback Removal Shaft and Adit (TRSA), as shown in Figure 6. This was a temporary structure designed by MM and constructed by RCC in the last quarter of 2016 to remove existing tiebacks in the path of the TBM. Through participation in the daily review meetings during the construction of the shaft and adit, lessons learned from the TRSA construction were incorporated into the SEM cavern risk register and design.

EXCAVATION SEQUENCE

The cavern drift configuration and construction sequence are the result of close interaction between RCC and MM to balance RCC's proposed construction sequencing, equipment and productivity needs with contractually mandated requirements for ground movements and infrastructure settlements. Close collaboration of designer and contractor is a key feature for SEM construction success and is clearly enhanced by a design-build delivery scheme. Based upon RCC's proposed sequence of construction, the cavern construction follows the completion of both bored tunnels and the excavation for the Historic Broadway Station.

The first 18.2m of cavern excavation beyond the station headwall is forepoled with a 53-unit pipe canopy system. The pipe canopy was installed from the Historic Broadway station excavation prior to the commencement of the SEM cavern excavation. Pipes were installed on 305mm centers over an arc of 90 degrees centered on the tunnel centerline and are 140mm OD with 13mm wall thickness.

The proposed cavern excavation sequence is shown in Figure 7 and Figure 8, and consists of a three-drift scheme, with 305mm temporary walls.

The side drifts will be excavated in 1.016m rounds for their full length, with the right drift staggered 20m from the left drift. The excavation of the side drifts is complicated by the demolition of the bored tunnel precast linings (PCTL). Each precast lining ring is approximately 1.52m in width, so RCC had to locally excavate around the PCTL to reach the end of the ring and remove it, as shown in Figure 9. At the end of every third excavation round, the excavation profile and precast lining segment joint would align.

Tab. 1 Geotechnické návrhové parametry
Table 1 Geotechnical design parameters

typ	název	E [MPa]	K ₀	Y [kN/m ³]	odvodněné (efektivní) parametry drained parameters			neodvodněné (totální) parametry undrained parameters		
					c' [kPa]	φ' [deg]	ν	c (S _u) [kPa]	φ [deg]	ν
unit	description	E [MPa]	K ₀	Y [kN/m ³]	c' [kPa]	φ' [deg]	ν	c (S _u) [kPa]	φ [deg]	ν
Af Af	navážky artificial fill	28,7 28.7	0,5 0.5	18,9 18.9	0 0	34 34	0,35 0.35	0 0	34 34	0,35 0.35
Qal2 Qal2	aluvium (hrubozrnné) alluvium (coarse grained)	57,5 57.5	0,5 0.5	18,5 18.5	9,6 9.6	38 38	0,35 0.35	9,6 9.6	38 38	0,35 0.35
Tf-1 Tf-1	formace Fernando (zvětralá) Fernando forma- tion (weathered)	120 (horní mez) 191 (dolní mez) 120 (top) 191 (bottom)	0,6 0.6	18,9 18.9	71,8 71.8	27 27	0,4 0.4	383 383	0 0	0,49 0.49
Tf-2 Tf-2	formace Fernando (zdravá) Fernando formation (fresh)	191 (horní mez) 287 (hloubka 30 m) 191 (top) 287 (30m depth)	0,65 0.65	19,3 19.3	143,6 143.6	27	0,4 0.4	478,8 478.8	0 0	0,49 0.49

Projektový tým měl příležitost pozorovat masivní a nepropustnou povahu formace Fernando, stejně jako dobu její stability, během výstavby nedaleké šachty a štoly pro odstranění kotvení, jak je znázorněno na obr. 6. Tato dočasná konstrukce navržená MM a zhotovená RCC v posledním čtvrtletí roku 2016 má za cíl odstranit stávající kotvení, které je v kolizi s trasou TBM. Účastí na každodenních jednáních během výstavby šachty a štoly byly poznatky z jejího provádění začleněny do návrhu a registru rizik ražené kaverny.

POSTUP RAŽEB

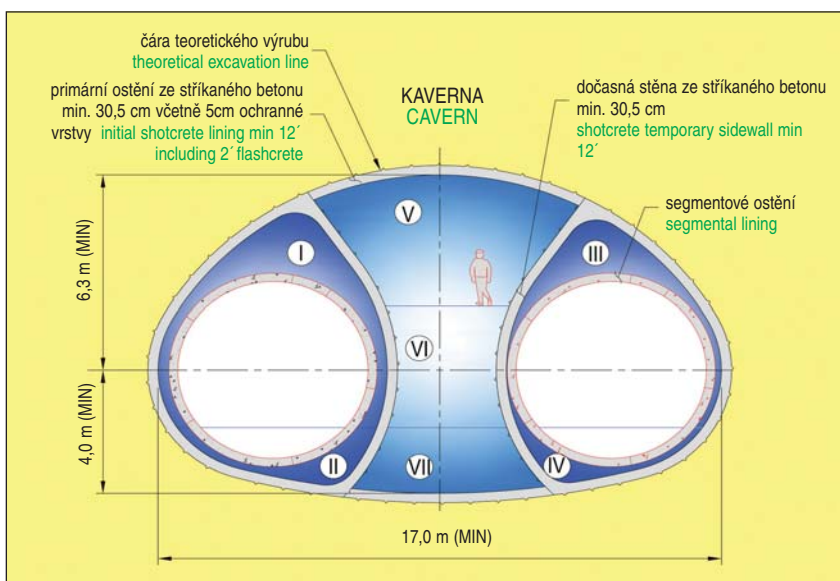
Členění výrubu a postup výstavby jsou výsledkem úzké interakce mezi RCC a MM, aby se vyvážily navržený postup, mechanizace

Once the right drift progresses 20m and monitoring readings are stable, the center drift excavation will follow, with 0.9m rounds in top heading and 1.8m in bench and invert. The temporary sidewall will be demolished behind the center drift invert advance. The Fig. 10 shows the current status of the excavation, with the side drifts excavation initiated.

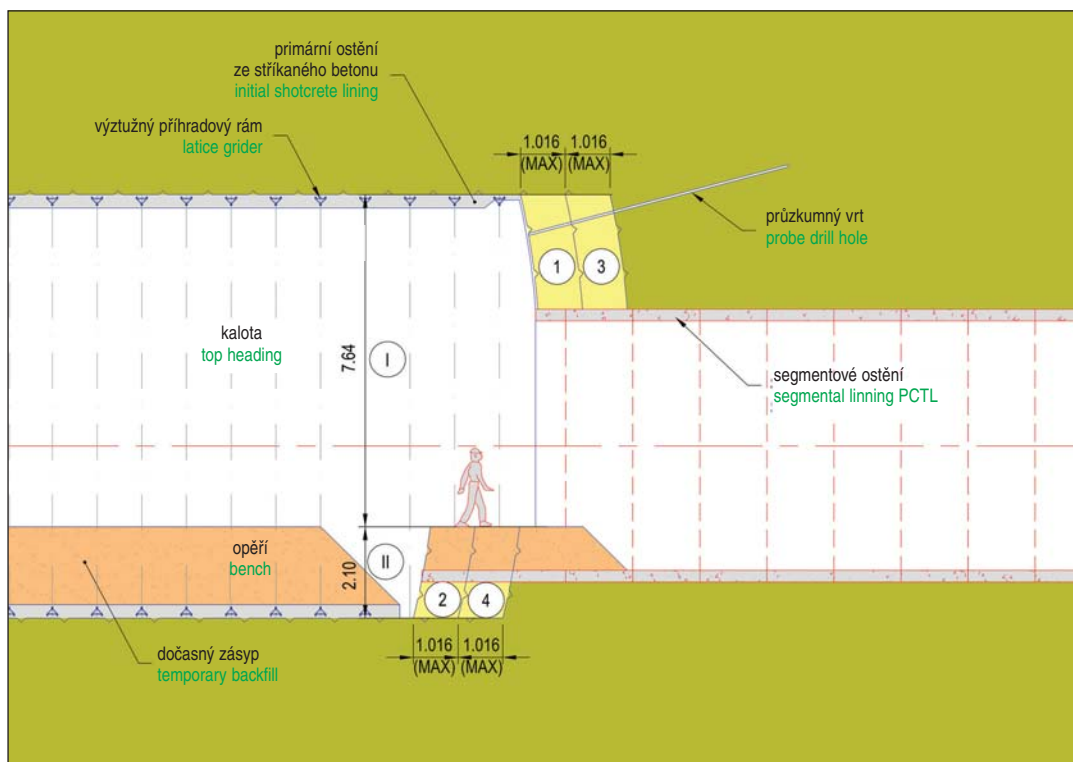
INITIAL LINING DESIGN

The design of the SEM cavern initial lining required a detailed simulation of the excavation sequence and geometry, ground characteristics and existing structures. A three-dimensional multi-staged FLAC^{3D} model was developed to consider these features. A two-dimensional FLAC model was also developed to check the 3D-model results and perform extensive sensitivity analysis. To provide further verification, the modeling results were also compared to empirical formulations where applicable as shown in Figure 11.

The use of the 3D model was essential to accurately assess ground relaxation in context with the excavation face. The Convergence-Confinement method can determine ground/support interaction with a two-dimensional plain strain model (AFTES 2001) [1]. The key issue is how to obtain the confinement loss or relaxation of the ground that occurs before placing the initial lining. Several analytical approaches are presented in technical literature that consider full-face circular excavations in homogeneous ground conditions, which differs significantly from the oval, multistage, shallow excavation of the SEM crossover cavern within elastic-plastic ground. With the 3D model no ground loss is assumed, this becomes an output from the model. This is a primary advantage of the model compared with the previously identified analytical methods. Once



Obr. 7 Členění výrubu
Fig. 7 Drift configuration



Obr. 8 Podélný profil ražby bočního dílčího výrubu
Fig. 8 Side drift excavation. Longitudinal profile

a požadavky na produktivitu výstavby se smluvně určenými požadavky na deformace masivu a poklesy infrastruktury. Úzká spolupráce projektanta a dodavatele je klíčovým prvkem úspěchu při metodě SEM (obdoba Nové rakouské tunelovací metody) a je ještě zdokonalena systémem dodávky Design and Build. Na základě navrženého postupu výstavby zhotovitele RCC bude výstavba kaverny zahájena po dokončení obou ražených tratěvých tunelů TBM a vyhloubení stanice Historic Broadway.

Prvních 18,2 m ražby kaverny za čelní stěnou stanice je zajištěno mikropilotovým deštníkem. Mikropilotový deštník byl instalován ze stanice Historic Broadway před zahájením ražby kaverny. Mikropiloty s vnějším průměrem 140 mm a tloušťkou stěny 13 mm byly osazeny s roztečí 305 mm v rozsahu 90° se středem v ose tunelu.

Navržené vertikální členění výrubu kaverny se třemi dílčími výrubu a dočasnými stěnami tloušťky 305 mm je znázorněno na obr. 7 a obr. 8.

Boční dílčí výrubu budou raženy po záběrech délky cca 1 m na celou délku kaverny, s 20m odstupem pravého dílčího výrubu za levým dílčím výrubem. Ražba bočních dílčích výrubů je komplikována bouráním prefabrikovaného segmentového ostění ražených tunelů. Každý prstenec segmentového ostění má šířku cca 1,52 m, tudíž RCC museli lokálně razit kolem segmentového ostění, aby dosáhli konce prstence a odstranili ho, jak je znázorněno na obr. 9. Na konci každého třetího záběru se čelba výrubu a příčná spára segmentového ostění vyrovnají.

Jakmile pravý dílčí výrub postoupí o 20 m a výsledky monitoringu budou ustálené, bude následovat ražba středního dílčího výrubu s délkou záběru 0,9 m v kalotě a 1,8 m v opěří a protiklenbě. Dočasná boční stěna bude bourána za protiklenbou středního dílčího výrubu. Obr. 10 zobrazuje aktuální stav ražeb se zahájením bočních dílčích výrubů.

NÁVRH PRIMÁRNÍHO OSTĚNÍ

Návrh primárního ostění kaverny vyžaduje detailní simulaci postupu a členění ražeb, charakteristik masivu a stávajících konstrukcí. Pro

the relaxation is defined, the construction stages in the 2D model are simulated by applying internal forces around the lining perimeter that are incrementally reduced to reproduce the ground-lining interaction as the excavation progresses. For the SEM cavern design, the relaxation used in the 2D models was calibrated to match the 3D model displacements, which generally required approximately 30% of ground relaxation before placing the initial lining.

The shotcrete initial lining was modeled in FLAC with two types of structural elements (elastic or elastic-plastic) to capture the ductile behavior and residual capacity of fiber-reinforced shotcrete and, through an iterative process, to identify areas in which local reinforcement

is required. The strength gain of shotcrete over time was also considered in the models based on a correlation developed by Chang (1994) [5] and reproduced in Thomas (2008) [8]. The subsequent structural design of the initial lining was performed following Metro Rail Design Criteria (2013), and codes and standards referenced therein including ACI 318 (2014). Analysis results were also checked against TR 63 (2007) [7]. Due to the geometry of the cavern, the top and bottom intersection of the temporary walls with the peripheral lining required local reinforcement. In general, lattice girders were not considered in the structural calculations. Wire mesh was required in the temporary walls, where design forces exceeded the capacity of fiber reinforced shotcrete at the stage when the center drift was excavated in the model.

Face stability was analyzed with empirical formulations (Vermeer et al 2002 [9]; Kavvas et al. 2009 [6]) and with a strength reduction factor approach with FLAC^{3D}, all of which indicated that the face would be stable without the need for continuous pre-support or face bolting.

In the event that ground conditions differ from anticipated conditions several supplemental support methods or “tool box” items were defined to be used during construction, including spiling, fiberglass face dowels, vacuum dewatering and face stabilization wedges. The use of “tool box” measures will be agreed on an as-needed basis to ensure that displacements are controlled and the stability of the existing structures is guaranteed at all times.

SETTLEMENT ASSESSMENT

A settlement assessment was performed for the cavern based on the results obtained from numerical models. The assessment includes an extensive sensitivity analysis (Figure 12) to evaluate the impact of various parameters on the results obtained, including the alluvium depth, varying Young's modulus of the Fernando Formation, soil constitutive model, ratio of in-situ horizontal and vertical stresses (K_0), excavation drift configuration,



Obr. 9 Lokálně zvýšený výrub kolem segmentového ostění raženého tunelu
Fig. 9 Local overexcavation around the bored tunnel precast lining

zvážení těchto vlastností byl vytvořen trojrozměrný vícefázový model FLAC^{3D}. Dále byl vytvořen 2D model FLAC pro kontrolu výsledků 3D modelů a rozsáhlou citlivostní analýzu. Pro další ověření byly výsledky modelování porovnány s empirickými přístupy (kde to bylo možné), jak je ukázáno na obr. 11.

Použití 3D modelu bylo nezbytné pro přesné vyhodnocení relaxace masivu v závislosti na postupu čelby ražeb. Metoda Convergence-Confinement může určit interakci podpory masivu s 2D modelem ve stavu rovinné deformace (AFTES 2001) [1]. Klíčovou otázkou je, jak získat sedání nebo relaxaci masivu, která nastává před vybudováním primárního ostění. V technické literatuře je prezentováno několik analytických přístupů, které uvažují kruhový profil tunelu a plnoprofilovou ražbu v homogenním masivu. Což se významně liší od mělce uložené, oválné kaverny pro kolejové spojky, ražené po dílčích výrubech v elasticko-plastickém masivu. Ve 3D modelu se neodhaduje hodnota ztráty objemu zeminy (ground loss), ta je výstupem modelu. To je hlavní výhoda modelu ve srovnání s výše uvedenými analytickými metodami. Jakmile je definována relaxace, fáze výstavby jsou v 2D modelu simulovány aplikací vnitřních sil podél obvodu ostění, které jsou postupně zmenšovány, aby vystihly interakci masiv-ostění při postupu ražeb. Pro návrh kaverny pomocí SEM byla relaxace použita u 2D modelů kalibrována tak, aby odpovídala deformacím ze 3D modelu, což obecně vyžadovalo přibližně 30% relaxaci masivu před umístěním primárního ostění.

Primární ostění ze stříkaného betonu bylo modelováno ve FLAC se dvěma typy prvků (elastické nebo elasto-plastické) pro zachycení tvárného chování a residuální únosnosti stříkaného vláknobetonu, a dále pro interaktivní určení oblastí, ve kterých je nutná lokální výztuž. Časově závislé navyšování únosnosti stříkaného betonu v modelech bylo uvažováno na základě korelace vyvinuté Changem (1994) [5] a reprodukované Thomasem (2008) [8]. Následný statický návrh primárního ostění byl

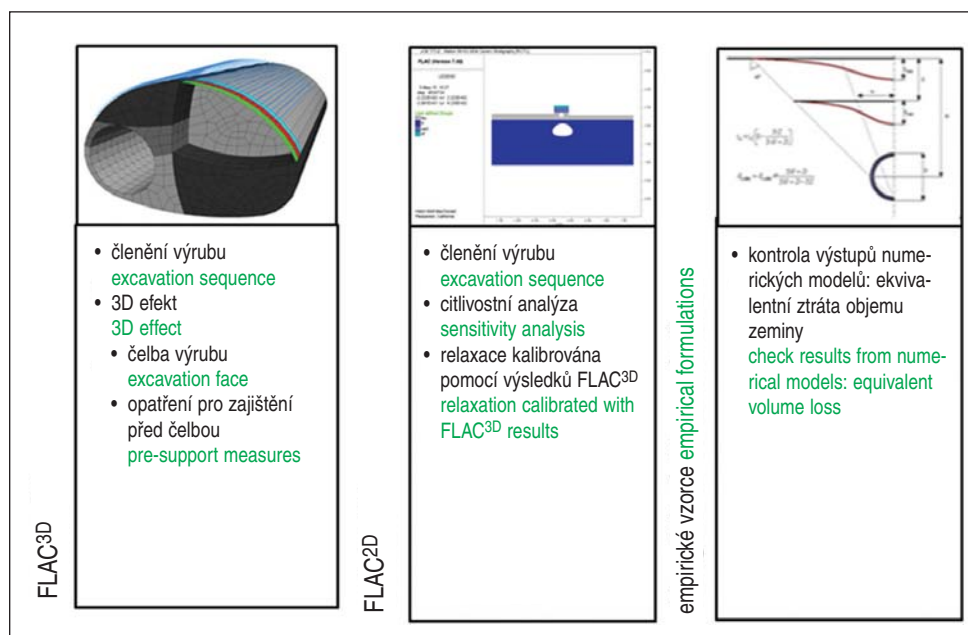


Obr. 10 Ražba bočních dílčích výrubů a výstavba rampy pro odstranění středního pilíře
Fig. 10 Side drift excavation and development of ramp for pillar removal

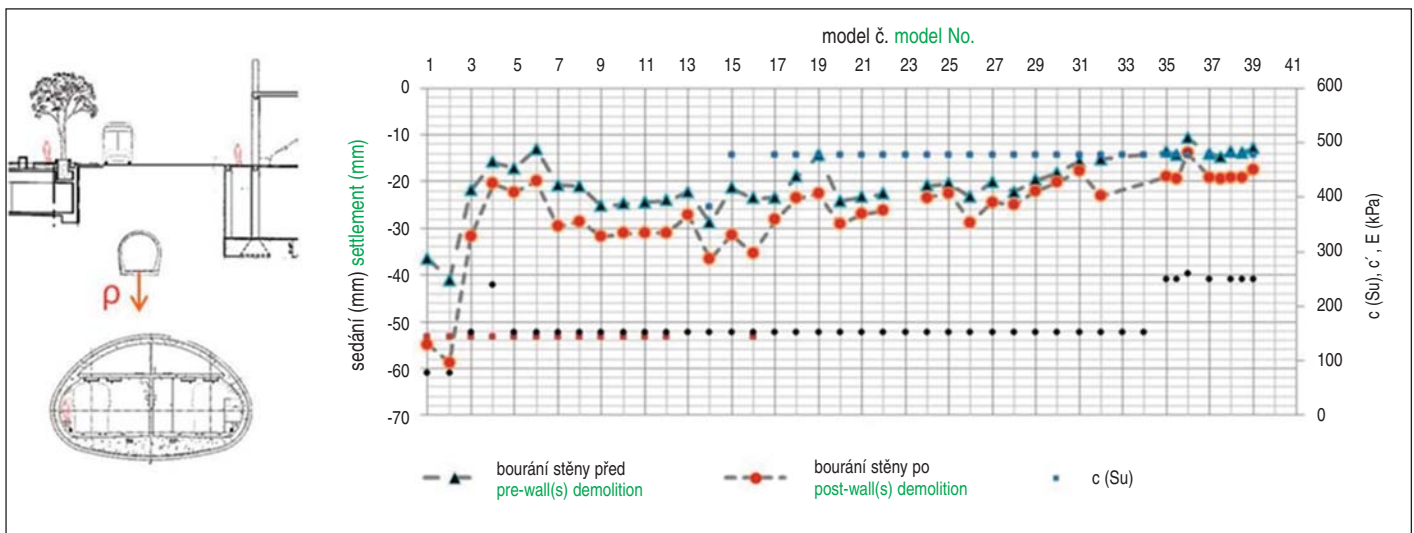
initial lining stiffness, adjacent building stiffness and pre-support measures.

A FLAC^{3D} model (Figure 13) was developed to assess the effectiveness of a continuous pipe umbrella, with steel pipes simulated as pile elements. The model showed that such pre-support measures would not reduce the cavern-induced displacements significantly. These results were attributed to the relatively high ground stiffness and the relatively flat shape of the cavern. Pipe umbrellas are effective in reducing displacements that occur close to the tunnel face, bridging the unsupported span on each round, but they are not effective in limiting the ground displacements that occur as the excavation progresses, due to the lack of arching effect normal to the tunnel axis, as discussed by Volkmann and Schubert (2007) [10].

The equivalent “volume-loss” with the final design configuration and expected ground parameters in the models was on the order of 0.3%, with expected maximum vertical displacements at building foundation elevation within the 12.7mm contract limit.



Obr. 11 Postup numerického modelování
Fig. 11 Numerical modeling approach



Obr. 12 Analýza citlivosti v programu FLAC
Fig. 12 FLAC Sensitivity analysis

proveden na základě předpisu Metro Rail Design Criteria (2013) a norem, na které se odkazuje včetně normy ACI 318 (2014). Výsledky analýzy byly rovněž kontrolovány oproti směrnici TR 63 (2007) [7]. Vzhledem ke geometrii kaverny byla vyžadována lokální výztuž v místě horního i dolního napojení dočasných bočních stěn na ostění kaverny. Příhradové rámy nebyly obecně uvažovány ve statických výpočtech. Výztužné sítě byly potřebné v dočasných stěnách, kde ve fázi ražby středního dílčího výrubu vnitřní síly modelu překročily únosnost vláknobetonu.

Stabilita čelby byla analyzována pomocí empirických postupů (Vermeer et al., 2002 [9]; Kavvadas a kol. 2009 [6]) a metodou strength reduction factor pomocí FLAC^{3D}. Výpočty ukázaly, že čelba bude stabilní bez potřeby systematického zajišťování před čelbou nebo čelbových kotev.

Pro případ zastižení jiných než předpokládaných geotechnických podmínek během výstavby bylo předem definováno několik doplňujících opatření pro zajištění stability, včetně jehlování, sklolaminátových čelbových kotev, vakuového odvodnění a stabilizačních čelbových horninových klínů. Tato opatření budou odsouhlasena, pokud budou nutná, aby byly deformace kontrolovány a vždy byla zaručena stabilita stávajících konstrukcí.

ANALÝZA SEDÁNÍ

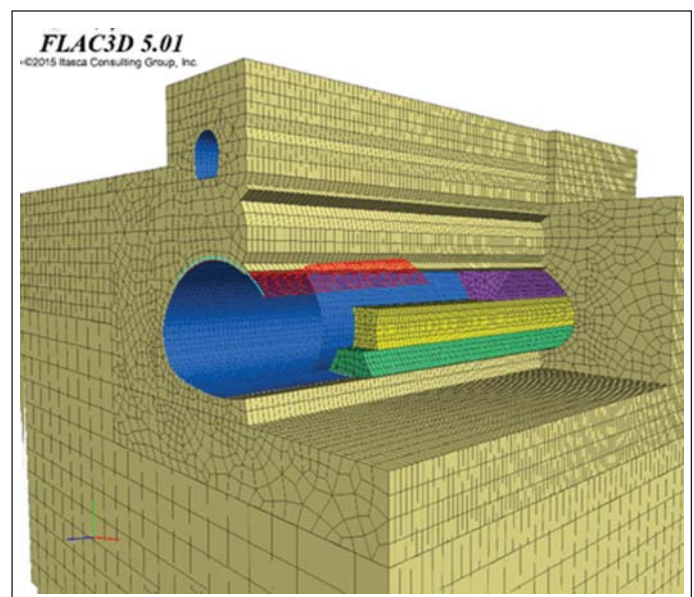
Pro kavernu byla provedena analýza sedání na základě výsledků získaných z numerických modelů. Ta zahrnuje rozsáhlou analýzu citlivosti (obr. 12) s cílem vyhodnotit dopad různých parametrů na získané výsledky, včetně hloubky aluvia, variabilního Youngova modulu formace Fernando, konstitutivního modelu masivu, součinitele zemního tlaku v klidu (K_0) in situ, konfigurace členění dílčích výrubů, tuhosti primárního ostění, tuhosti okolních budov a opatření k systematickému zajišťování před čelbou.

K posouzení efektivity systematického mikropilotového deštníku byl vytvořen 3D model v programu FLAC (obr. 13), kde jsou mikropiloty modelovány jako objemové prvky. Model ukázal, že takováto předčelbová zajišťovací opatření by výrazně nezmenšila deformace způsobené ražbou kaverny. Tyto výsledky byly přičítány poměrně vysoké tuhosti masivu a poměrně plochému tvaru kaverny. Mikropilotové deštníky jsou efektivní pro snížení deformací vznikajících blízko čelby tunelu tím, že přemostují nezajištěný výrub každého záběru. Ale nejsou účinné pro snížení deformací vznikajících při ražbě

The magnitude of the adjacent building impacts associated with the ground movements is expected to range from negligible to slight, corresponding to induced tensile strains under 0.15%, when assessed in accordance with both with Boscardin and Cording (1989) [3] and Burland et al. (2001) [4] Criteria.

The combined impact of station excavation and SEM cavern construction was analyzed with a simplified 3D model to assess the three-dimensional effect that occurs around the station head-wall, limiting the station excavation-induced displacements compared to an infinite wall assumption, as suggested in CIRIA PR30 (1996).

Impacts on the LA County storm drain were analyzed using FLAC^{3D}, as the potential impact on the structure would principally be caused by the longitudinal settlement trough as the SEM cavern construction progresses. The angular distortion estimated from the model results was in the range of 1/4500, well below contract requirements (1/600) and industry standards such as CIRIA PR30 (1996). Based upon the analysis results, the expected cavern-induced displacements do not warrant the use of construction mitigation measures for the buildings and storm drain prior to the construction of the cavern.



Obr. 13 3D model v programu FLAC
Fig. 13 FLAC 3D model

v důsledku nedostatečné příčné horninové klenby, jak to diskutují Volkmann a Schubert (2007) [10].

„Ztráta objemu zeminy“ ekvivalentní k finálnímu návrhu a očekávaným geotechnickým parametrům použitým v modelech byla v řádu 0,3 %, s očekávaným maximálním sedáním v základové spáře budov splňujícím smluvní limit 13 mm.

Vliv na okolní budovy související s deformacemi masivu by se měl pohybovat od „zanedbatelný“ po „nepatrný“, což odpovídá vyvolaným tahovým pretvořením pod 0,15 %, při posouzení jak podle kritérií Boscandina a Cordinga (1989) [3], tak podle Burlanda et al. (2001) [4].

Kombinovaný vliv ražby stanice a kaverny byl analyzován pomocí zjednodušeného 3D modelu, aby se posoudil 3D efekt kolem čelní stěny stanice, který omezuje deformace způsobené ražbou stanice ve srovnání s předpokladem nekonečné stěny, jak je navrženo v publikaci CIRIA PR30 (1996).

Dopady na štolu dešťové kanalizace LA County byly analyzovány pomocí FLAC^{3D}, neboť potenciální dopad na konstrukci by byl způsoben hlavně vývojem poklesové kotliny v podélném směru, jak bude postupovat ražba kaverny. Nerovnoměrné sedání odhadnuté z výsledků modelu bylo kolem 1/4500, což je výrazně méně než požadují smluvní požadavky (1/600) a normy, jako je CIRIA PR30 (1996). Na základě výsledků analýzy očekávané deformace způsobené ražbou kaverny neodůvodňují použití zesilujících konstrukčních opatření pro budovy a dešťovou kanalizaci před výstavbou kaverny.

GEOTECHNICKÝ MONITORING

Geotechnický monitoring je nezbytnou součástí metody cyklického ražení (SEM), umožňující porovnání předpokládaných deformací se skutečnými deformacemi naměřenými na stavbě během výstavby. Pro budovy a inženýrské sítě v blízkosti kaverny, stejně jako pro sledování konvergencí masivu a primárního ostění při ražbě kaverny (obr. 14), byl realizován rozsáhlý program geotechnického monitoringu. Instrumentace zahrnuje pole konvergenčních bodů, body pro měření sedání terénu, víceúrovňové extenzometry, inklinometry, piezometry, náklonoměry, měřicí body na budovách a měřicí body v dešťové kanalizaci. Pro monitoring na povrchu jsou použity automatické totální stanice, které poskytují data prakticky v reálném čase. Na základě výsledků numerického modelování byly pro každou fázi výstavby stanoveny varovné stavy a příslušná opatření. Posuny naměřené na stavbě během výstavby jsou porovnávány s těmito limity a výsledky numerického modelování.

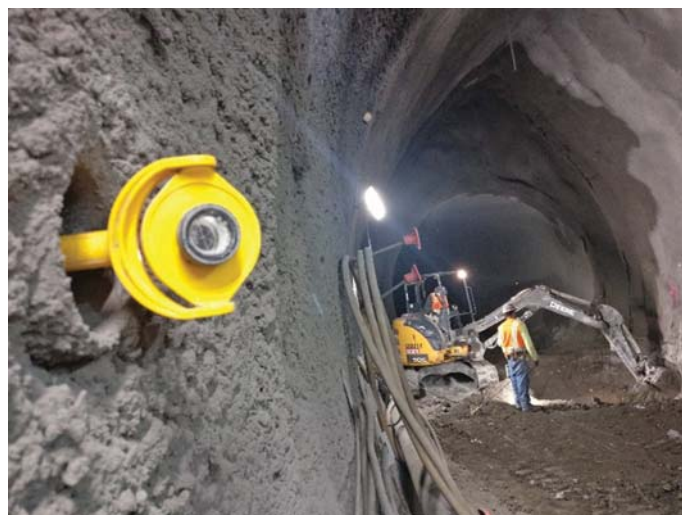
IZOLACE PROTI VODĚ A PLYNŮM

Trasa RCTP leží v metanové zóně definované nařízením města Los Angeles č. 175790. Obdobně je známým rizikem možnost zastižení metanu a/nebo sirovodíku během výstavby nebo následného provozu lehké železnice. Práce v podzemí byly klasifikovány organizací Cal/OSHA jako „potenciálně plyné“, přičemž koncentrace, tlak a objem těchto plynů se očekávají dostatečně nízké, aby mohly být v průběhu ražeb zvládnuty pomocí dostatečného větrání. Pro zmírnění dlouhodobého provozního rizika předepisují technické specifikace společnosti Metro použití izolace proti metanu a vodě.

V celém rozsahu kaverny bude mezi primární a sekundární ostění instalována membrána odolná proti uhlíkovdíkům z vysokohustotního polyethylenu (HDPE). Tato membrána bude systematicky rozdělena kombinací vodonepropustných těsnících pásů, trubek pro kontaktní injektáž a pojistných injektážních hadiček, tak aby se mohl vyplnit prostor mezi primárním a sekundárním ostěním a utěsnily se potenciální průsaky.

NÁVRH SEKUNDÁRNÍHO OSTĚNÍ

Analýza interakce masiv–konstrukce byla pro návrh sekundárního ostění provedena pomocí programů FLAC a SAP2000. FLAC analýza



Obr. 14 Instalovaný konvergenční měřicí bod
Fig. 14 Installed convergence monitoring point

CONSTRUCTION MONITORING

Monitoring is an essential part of SEM construction, allowing comparison of predicted ground displacements with actual movements measured on site during construction. An extensive instrumentation and monitoring program was implemented for the buildings and utilities near the cavern, as well as ground convergence monitoring of the initial shotcrete lining performed from inside the cavern (Figure 14). The instrumentation comprises arrays of convergence monitoring points, ground surface settlement points, multi-point borehole extensometers, inclinometers, piezometers, tiltmeters and monitoring points on buildings and utility monitoring points on the storm drain. Surface monitoring includes the use of Automated Total Stations (ATS) that provide virtually real-time data. Based on the numerical modeling results, action and maximum levels at each construction stage were established. Displacements measured in the field during construction are being compared with those limits and the numerical modeling results.

GAS AND WATERPROOFING

The RCTP alignment lies within the Methane Zone and Methane Buffer Zone, as defined by the City of Los Angeles Ordinance 175790. Correspondingly, the possibility of encountering methane gas and/or hydrogen sulfide during construction or subsequent operation of the LRT system is a known risk. The underground work has been classified as “potentially gassy” by Cal/OSHA and the concentration, pressure and volume of these gases is expected to be sufficiently low to be mitigated within the excavation through adequate ventilation. As mitigation against long term operating risk, Metro technical specifications prescribe the use of methane and water-resistant barriers.

A hydrocarbon resistant (HCR) high-density polyethylene (HDPE) membrane will be provided between the initial support and final lining over the full extent of the cavern. The HCR membrane will include a compartmentalization system, with the combined use of water barriers and contact grout pipes and remedial grout tubes to ensure there are no gaps between the initial and final lining and seal potential leakages.

FINAL LINING DESIGN

Ground-structure interaction analysis for the final lining design was performed using FLAC and SAP2000. The FLAC analysis

byla provedena podle výsledného modelu pro primární ostění. Geotechnické parametry byly modifikovány pro dlouhodobé odvodněné podmínky, sekundární ostění bylo aktivováno a primární ostění deaktivováno pro simulaci dlouhodobé degradace primárního ostění, přičemž veškeré horninové zatížení bylo přeneseno na sekundární ostění. Nakonec bylo na konstrukci aplikováno hydrostatické zatížení a další zatížení působící trvale.

Seismická analýza byla nejprve provedena pomocí pseudo-statického přístupu. Vzhledem ke složitosti geometrie kaverny a vnitřních konstrukcí – včetně středové stěny a mezistropu, byla v závěrečné fázi návrhu použita dynamická analýza. To poskytlo cenné odpovědi na otázky typu kombinovaná odezva primárního a sekundárního ostění při zemětřesení, včetně plastické odezvy sekundárního ostění s analýzou zakřivení vytvořených plastických kloubů, relativních posunutí mezistropu a ostění kaverny v místech jeho napojení a zatížení vnitřních konstrukcí. Obr. 15 ukazuje, jak se během dynamické analýzy mění ohybové momenty v několika uzlech sekundárního ostění.

Kvůli rozdílné tuhosti kaverny, stanice a ražených tunelů jsou na rozhraní mezi těmito konstrukcemi vytvořeny flexibilní spáry. Definitivní konstrukce obsahuje čelní stěnu tloušťky 0,61 m na východní straně kaverny, na rozhraní s raženými tunely. Analýza čelní stěny a její spolupůsobení se sekundárním ostěním kaverny a středovou stěnou (která působí jako vnitřní podpora) byla provedena pomocí 3D modelu s interakcí masiv–konstrukce v programu SAP2000, s použitím statických zatížení a posunů vyvolaných seismikou.

STAV STAVEBNÍCH PRACÍ

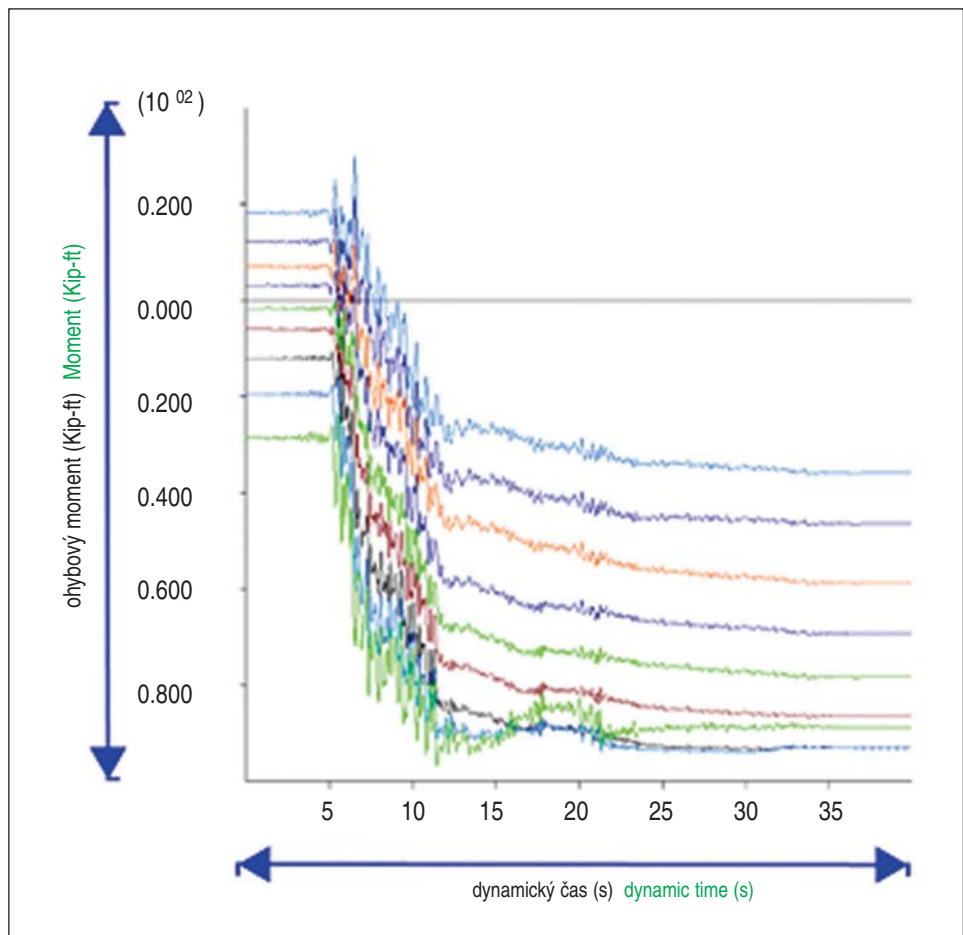
V době publikování tohoto článku probíhá výstavba kaverny s čelbou levého dílčího výrubu přibližně v polovině délky kaverny, čelbou pravého dílčího výrubu s odstupem 20 m (podle projektu) a chystá se zahájení ražby středního dílčího výrubu. Obr. 16 znázorňuje čelbu levého dílčího výrubu.

ZÁVĚR

Ražená kaverna kolejových spojek projektu RCTP v centru Los Angeles bude po dokončení největším raženým dílem v Los Angeles.

Zakázky Design and Build podporují úzkou spolupráci dodavatelů a projektantů, což je klíčový prvek metody cyklického ražení (SEM). Zvolené členění výrubu a postup výstavby jsou výsledkem procesu spolupráce mezi MM a RCC na základě identifikace a řízení rizik, stanovení velikostí dílčích výrubů podle mechanizace a optimalizace produktivity výstavby, využití pokročilých nástrojů 3D numerického modelování pro přesnou simulaci víceetapového procesu výstavby a kontroly návrhu v porovnání se smluvními požadavky a normami pro posouzení vlivu kaverny na stávající konstrukce.

Rozsáhlý program geotechnického monitoringu je nezbytný pro kontrolu, zda jsou deformace vyvolané ražbou v očekávaných hodnotách, a také pro umožnění stavbou požadovaných modifikací v postupu



Obr. 15 Dynamická analýza – časový průběh ohybových momentů sekundárního ostění
Fig. 15 Dynamic analysis – moment time histories in the final lining

follows the solved state of the model for the initial lining. The geotechnical parameters were modified to long-term drained conditions, the final lining was set in place and the initial lining was removed to simulate long-term degradation of the initial lining, transferring all ground loads to the final lining. Finally, hydrostatic loads and other loads acting on the permanent condition were applied to the structure.

The seismic analysis was initially performed using a pseudo-static approach. Given the complexity of the cavern geometry and internal structure – including wall and plenum slab, a dynamic analysis was used in the final stage of the design. This provided valuable responses to questions such as the combined response of initial and final lining under the seismic events, including post-yielding response of the final liner with a curvature analysis of the plastic hinges formed, relative displacement of the plenum slab and peripheral lining at corbel location and loads in the interior structure. Figure 15 shows how bending moments in several nodes of the final lining changed throughout the dynamic analysis.

Due to the different stiffness of the cavern, station structure and the bored tunnels, flexible joints are provided at the interfaces between these structures. The final lining includes a 0.61m thick headwall on the east side of the cavern, at the interface with the bored tunnels. The analysis of the headwall and its interaction with the perimeter final lining and the center wall (that acts as an internal buttress) was analyzed with a 3D soil-structure interaction model in SAP2000, using static loads and seismically induced displacements.



Obr. 16 Čelba levého dílčího výrubu
Fig. 16 Left drift excavation face

výstavby a zajištění výrubu ve spojení s úzkou spoluprací projektanta a dodavatele.

PODĚKOVÁNÍ

Autoři by chtěli poděkovat sdružení firem Skanska a Traylor Brothers, pod názvem Regional Connector Constructors a Metru za jejich podporu a spolupráci během procesu návrhu a za udělení souhlasu s touto publikací.

CARLOS HERRANZ CALVO, M.Sc.,
Carlos.HerranzCalvo@mottmac.com, Los Angeles,
DEREK PENRICE, M.Sc., C.Eng.,
Derek.Penrice@mottmac.com, San Ramon,
Mott MacDonald, California, United States

Recenzovali Reviewed: Ing. Vladimír Prajzler, Ing. Josef Rychtecký

CONSTRUCTION STATUS

At the time of publishing this article, the SEM cavern construction is progressing with the left side drift excavation face at approximately half the length of the cavern, the right drift face staggered 20m behind (as per design), and the center drift top heading about to start. Figure 16 shows the ground exposed on the left drift.

CONCLUSIONS

The SEM crossover cavern in the RCTP Project in downtown Los Angeles, once completed, will be the largest tunneled excavation in Los Angeles.

Design-build contracts promote the close collaboration of contractors and designers, a key feature in SEM tunneling. The selected drift configuration and construction sequence is the result of a collaborative process between MM and RCC, based on: identifying and managing risks; establishing drift sizes to accommodate equipment and optimize productivity; using advanced three-dimensional numerical modeling tools to accurately simulate the multi-stage construction process; and checking the design against contractual requirements and industry standards to evaluate the cavern's influence on existing structures.

An extensive instrumentation and monitoring program is essential to check that the excavation-induced displacements are within the expected values, and to facilitate any required field modification of the construction sequence and ground support in conjunction with close collaboration between the designer and contractor.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank Regional Connector Constructors, Skanska and Traylor Brothers and Metro for their support and collaboration during the design process and for granting permission for this publication.

CARLOS HERRANZ CALVO, M.Sc.,
Carlos.HerranzCalvo@mottmac.com, Los Angeles,
DEREK PENRICE, M.Sc., C.Eng.,
Derek.Penrice@mottmac.com, San Ramon,
Mott MacDonald, California, United States

LITERATURA / REFERENCES

- [1] AFTES (Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain) 2001. Recommendations on the Convergence-Confinement Method
- [2] Attewell, Yeates and Selby 1986, Soil Movements Induced by Tunnelling and their Effects on Pipelines and Structures. Blackie and Son. London, UK
- [3] Boscardin, M. D., and Cording, E. J. 1989, Building Response to Excavation-Induced Settlement. Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 115:1-21
- [4] Burland, J. B., Standing, J. R., and Jardine, F. M. 2001. Building response to tunneling. Case studies from construction of the Jubilee Line Extension, London. Thomas Telford, London, UK
- [5] Chang, Y. 1994. Tunnel support with shotcrete in weak rock – a rock mechanics study, PhD Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm
- [6] Kavvas, M., Prountzopoulos, G., and Tzivakos, K. 2009. Prediction of Face Stability in Unsupported Tunnels using 3D Finite Element Analysis. 2nd International Conference of Computational Methods in Tunneling. Aedificatio Publishers.
- [7] The Concrete Society, 2007, Technical Report No. 63 Guidance for the Design of Steel-Fibre-Reinforced Concrete. Camberley: The Concrete Society.
- [8] Thomas, A. 2008. Sprayed Concrete Lined Tunnels. Taylor & Francis. New York, NY
- [9] Vermeer, Ruse and Marcher, 2002. Tunnel Heading Stability in Drained Ground. FELSBAU 20 NO.6: 8-18
- [10] Volkmann, G.M., Schubert, W. 2007. Geotechnical Model for Pipe Roof Supports in Tunneling. Proceedings of the 33rd ITA-AITES World Tunneling Congress. Taylor & Francis Group, Volume 1, app. 755-760

VYUŽITÍ POKROČILÉHO MATERIÁLOVÉHO MODELU PRO STŘÍKANÝ BETON TUNELOVÝCH STAVEB APPLICATION OF ADVANCED MATERIAL MODEL FOR SHOTCRETE TUNNEL STRUCTURES

LUMÍR MIČA, JURAJ CHALMOVSKÝ, PAVEL KOUDELA

ABSTRAKT

Předmětem článku je prezentace zkušeností pracovní skupiny numerické geotechniky na Ústavu geotechniky FAST VUT v Brně. Vývoj v oblasti numerické geotechniky jde neustále kupředu. Jedná se zejména o nové materiálové modely, které věrohodněji popisují mechanické chování materiálů. U podzemních staveb je nejdůležitějším konstrukčním prvkem ostění, a proto je nutné i je adekvátně vystihnout. V současné době se nejčastěji aplikuje lineárně elastický model, který je však velkým zjednodušením popisu mechanického chování stříkaného betonu. Vhodnější volbou je použití přesnějšího, nelineárního elastoplastického materiálového modelu. V první části článku je demonstrován postup kalibrace vstupních veličin na základě výsledků standardně dostupných laboratorních zkoušek. Je zde zřetelně demonstrována výrazně vyšší přesnost predikce chování stříkaného betonu. Ve druhé části článku je materiálový model aplikován na okrajovou úlohu reálné tunelové stavby.

ABSTRACT

The subject matter of the paper lies in the presentation of experience of the working group of numerical geotechnics at the Faculty of Civil Engineering of the Brno University of Technology. Development in the field of numerical geotechnics goes continually forward. It concerns first of all new material models describing the mechanical behaviour of materials more faithfully. The most important structural element of underground structures is the lining and for that reason it is necessary to give an adequate picture of the lining. The linearly elastic model is currently applied most frequently, but it is too great simplification of the description of mechanical behaviour of sprayed concrete. The use of a more accurate, nonlinear elastoplastic material model is a more appropriate option. In the first part of this paper, there is the description of the procedure of calibration of input quantities on the basis of results of standard laboratory tests available. Significantly higher accuracy of the prediction of shotcrete behaviour is clearly demonstrated in it. In the second part of the paper, the material model is applied to a boundary problem of a real tunnel structure.

1. ÚVOD

Numerické modelování je již standardním nástrojem současné technické praxe. V podzemním stavitelství, kde jde ve většině případů o složité až velmi složité úlohy, je možné s jeho pomocí analyzovat komplexně celou řadu problémů. Aby bylo možné relevantně modelovat podzemní konstrukce, musí být k dispozici pro jednotlivé materiály adekvátní materiálové modely. Důležitou funkci v interakci konstrukce a horninového prostředí v podzemních stavbách má ostění. Jedním z relativně nových pokročilých materiálových modelů pro stříkaný beton tunelových ostění je Shotcrete model [1] (dále jen SH model). Ve srovnání s lineárně elastickými (LE) a lineárně elastickými – ideálně plastickými (LE-IP) vztahy přináší řadu výhod:

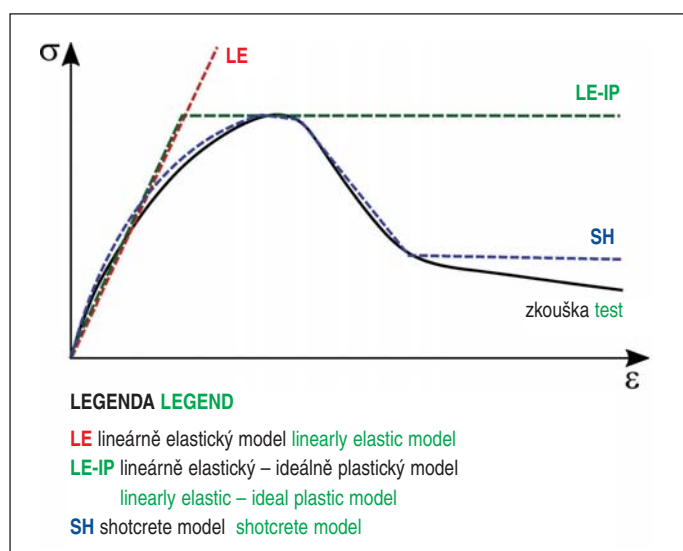
- nelineární nárůst napětí s přetvořením, vznik plastických deformací před dosažením pevnosti materiálu;
- pokles napětí (změkčování) po dosažení tahové/tlakové pevnosti simulující tak vznik trhlin;
- předchází závislosti rychlosti změkčování na hustotě sítě konečných prvků s využitím tzv. nelokálního přístupu („nonlocal approach“), nelokální veličina (např. přetvoření) v daném místě je váženým průměrem lokálních hodnot v sousedních bodech;
- nárůst pevnosti a tuhosti v čase;
- pokles duktility betonu v čase;
- přetvoření v důsledku creepu a smršťování.

Tyto výhody znamenají reálnější predikci mechanického chování betonu. Schematicky je rozdíl mezi LE, LE-IP a SH modelem znázorněn na obr. 1.

1. INTRODUCTION

Numerical modelling is already a standard tool of the current technical practice. In the underground structural engineering, where complicated up to very complicated problems are dealt with, it is possible to analyse numerous problems comprehensively by its application. To be relevant modelling of an underground structure possible, adequate material models have to be available for individual materials. A lining has an important function in the structure-ground environment interaction in the field of underground construction. One of relatively advanced material models for sprayed concrete for tunnel linings is the Shotcrete model [1] (hereinafter referred to as the SH model). In comparison with linearly elastic (LE) and linearly elastic – ideally plastic (LE-IP) relationships, it provides a lot of advantage:

- nonlinear increase in stress - strain, origination of plastic deformations before reaching the material strength;
- decrease in stress (softening) after reaching the tensile/compressive strength simulating the origination of cracks in this way;
- prevents the dependence of the softening rate on the density of the finite element network using the so-called nonlocal approach; a nonlocal quantity (e.g. deformation) in a particular place is an weighted mean of local values in neighbouring points;
- increase in strength and toughness with time;
- decrease in concrete ductility with time;
- deformation due to creep and shrinkage.



Obr. 1 Schematické znázornění rozdílu mezi LE, LE-IP a SH modelem v zobrazení normálové napětí (σ) – osové přetvoření (ϵ)

Fig. 1 Schematic depiction of the difference between LE, LE-IP and SH models in the normal stress (σ) – axial deformation (ϵ) depiction

2. POSTUP STANOVENÍ HODNOT VSTUPNÍCH PARAMETRŮ

Kalibrace SH modelu je demonstrována na stříkaném betonu ostění primární kolektorové sítě v Brně (rozrážka u šachty Š 12). Z provedených vývrtů byly v Laboratoři geotechniky Centra AdMaS realizovány zkoušky v prostém tlaku, triaxiální tlakové zkoušky a zkoušky pevnosti v příčném tahu. Postup stanovení vstupních parametrů SH modelu je rozdělen na získání parametrů řídících nárůst napětí s přetvořením (zpevňování) a následně na získání vstupů řídících povrchový pokles tlakového napětí s přetvořením (změkčování).

2.1 Parametry řídící nárůst napětí s přetvořením

Změna napjatosti před dosažením tahové/tlakové pevnosti je definována pomocí veličin sumarizovaných v tab. 1. Příslušné parametry pro zpevnění se určí jednak přímo ze zkoušek a jednak z kalibrace. Ze zkoušek v příčném tahu se

The above-mentioned advantage cases mean more realistic prediction of the mechanical behaviour of concrete. The difference between the LE, LE-IP and SH models is schematically illustrated in Fig. 1.

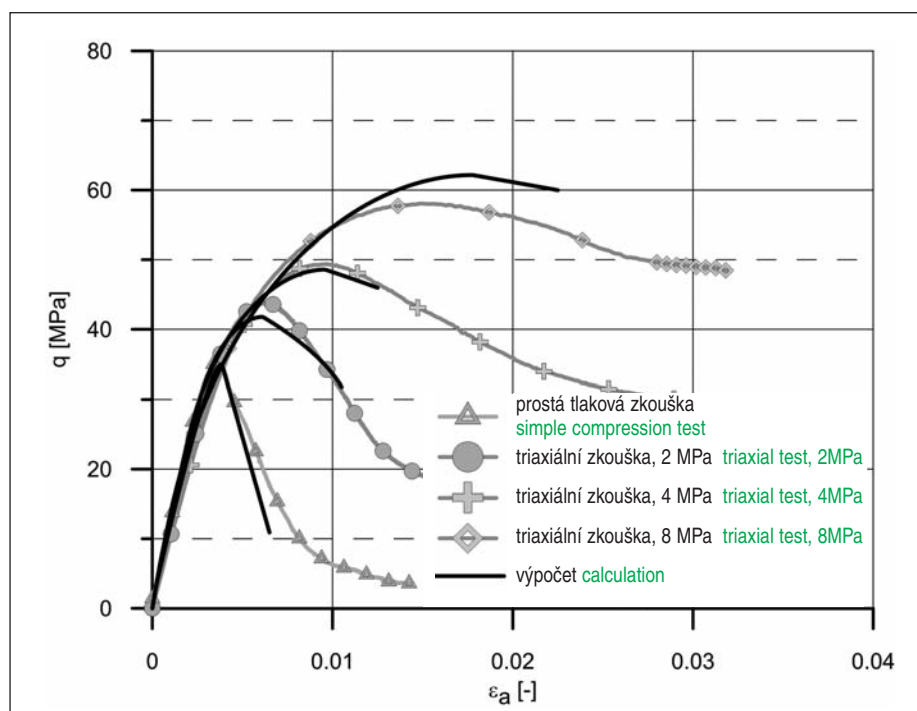
2. PROCEDURE FOR DETERMINING VALUES OF INPUT PARAMETERS

The calibration of the SH model is demonstrated on sprayed concrete forming the lining of the primary utility tunnel network in Brno (the side stub at shaft Š 12). Uniaxial compressive strength tests, triaxial compressive strength tests and tensile splitting strength tests were conducted on core samples at the Geotechnical laboratory of the AdMaS Centre. The procedure for the determination of the input parameters of the SH model is divided into obtaining parameters controlling the nonlinear increase in stress – strain (hardening) and, subsequently, into obtaining inputs controlling the post-ultimate decrease in the compressive stress – strain (softening).

2.1 Parameters controlling the increase in stress – strain

The change in the state of stress before the tensile/compressive strength is reached is defined by means of quantities summarised in Table 1. The respective parameters for hardening are determined partly directly from tests and partly from calibration. The tensile strength $f_{t,28}$ is determined directly from tensile splitting strength tests. The parameter a controlling the dependence of the relative axial deformation when the compressive strength ϵ_{cp} is reached on principal stress σ_3 (ductility) is derived from triaxial tests. Other parameters in Table 1 are determined by calibration on mathematically simulated deformation-controlled compressive strength tests (uniaxial compressive strength test, triaxial tests with the chamber stresses of 2, 4 and 8 MPa) using the SoilTestLab application of the PLAXIS 2D 2016 software. The comparison of the measured data and the results of simulations is presented in Fig. 2. The parts of the working diagrams where the

stress increases are relevant for this part of calibration (Table 1).



Obr. 2 Měřené a predikované závislosti deviatoru napětí (q) – poměrná osová deformace (ϵ_a)

Fig. 2 Stress deviator (q) – relative axial deformation (ϵ_a) measured and predicted dependence

2.2 Parameters controlling the post-ultimate decrease in the compressive stress – strain

Softening – ultimate decrease in stress – strain represents an important part of the actual behaviour of shotcrete. However, the assumption of homogeneous distribution of stress state ceases to be applicable before the ultimate strength is reached and during the process of softening. Shear bands and transverse tension cracks originate in the specimen. The rate of softening is further dependent on the size of the specimen. It is therefore necessary for obtaining the parameters of softening at compressive loading (Table 2) to develop the 3D model of the laboratory test with the specimen dimensions and boundary conditions during the test itself.

The response of the spatial mathematical model was compared with triaxial

přímo stanoví pevnost v tahu $f_{t,28}$. Z triaxiálních zkoušek se odvozuje parametr a , který řídí závislost poměrného osového přetvoření při dosažení tlakové pevnosti ϵ_{cp} na hlavním napětí σ_3 (duktilitu). Další parametry v tab. 1 se stanoví kalibrací na matematicky simulovaných deformačně řízených tlakových zkouškách (prostá tlaková zkouška, triaxiální zkoušky s komorovým napětím 2, 4 a 8 MPa), s využitím programu PLAXIS 2D 2016 aplikace SoilTestLab. Srovnání naměřených dat a výsledků simulací je uvedeno na obr. 2. Pro tuto část kalibrace jsou relevantní ty části pracovních diagramů, v nichž dochází k nárůstu napětí.

Tab. 1 Vstupní parametry řídící zpevňování

parametr	popis
E_{28} [MPa]	modul pružnosti vyzrálého betonu
ν [-]	Poissonovo číslo
$f_{c,28}$ [MPa]	prostá tlaková pevnost vyzrálého betonu
$f_{t,28}$ [MPa]	prostá tahová pevnost vyzrálého betonu
f_{c0n} [-]	normovaná počáteční mobilizovaná pevnost v tlaku (hranice elastického chování)
ϵ_{cp}^D [-]	poměrné přetvoření (plastická složka) při dosažení pevnosti v prostém tlaku
a [-]	parametr řídící nárůst ϵ_{cp} v závislosti na σ_3 (duktilita)
φ_{max} [°]	úhel vnitřního tření

2.2 Parametry řídící povrchový pokles tlakového napětí s přetvořením

Změkčování – povrchový pokles napětí s rostoucím přetvořením představuje důležitou součást skutečného chování stříkaného betonu. Před dosažením vrcholové pevnosti a v průběhu změkčování však přestává platit předpoklad homogenního rozložení napjatosti. Ve vzorku vznikají smyková pásma a příčné tahové trhliny. Rychlost změkčování je dále závislá na velikosti vzorku. Pro získání parametrů změkčování při zatížení tlakem (tab. 2) je proto nutné sestavit 3D model laboratorní zkoušky s rozměry vzorku a okrajovými podmínkami při samotné zkoušce.

Tab. 2 Vstupní parametry řídící změkčování při zatěžování tlakem

parametr	popis
f_{cfn} [-]	normalizovaná pevnost při porušení
f_{cun} [-]	normalizovaná reziduální tlaková pevnost
$G_{c,28}$ [kJ/m]	lomová energie v tlaku vyzrálého betonu

Odezva prostorového matematického modelu byla porovnávaná s triaxiálními zkouškami s komorovým tlakem 2, 4 a 8 MPa (obr. 3). Nejlepší shoda mezi simulací a naměřeným pracovním diagramem je dosažena pro zkoušku s komorovým tlakem 4 MPa. V případech zkoušek s komorovým tlakem 2 MPa, resp. 8 MPa, je výsledná predikovaná tlaková pevnost mírně podhodnocena, resp. nadhodnocena. Je to pravděpodobně dáno tím, že v SH modelu je implementována lineární Mohr-Coulombova podmínka porušení; ve skutečnosti je plocha porušení nelineární. Při simulaci zkoušky s komorovým tlakem 8 MPa dochází k iniciaci změkčování při větším přetvoření. Jedním z možných vysvětlení je přítomnost mikrotrhlin ve vzorku, které urychlily propagaci poruchové zóny. Finální hodnoty všech vstupních veličin jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 Finální hodnoty vstupních veličin
Table 3 Final values of input quantities

E_{28} [MPa]	ν [-]	$f_{c,28}$ [MPa]	$f_{t,28}$ [MPa]	f_{c0n} [-]	ϵ_{cp}^D [-]	a [-]	φ_{max} [°]	f_{cfn} [-]	f_{cun} [-]	$G_{c,28}$ [kJ/m]
15 500	0,2	35	2,4	0	0,0016	24	39	0,01	0,01	1,25
15,500	0.2	35	2.4	0	0.0016	24	39	0.01	0.01	1.25

Table 1 Input parameters controlling the process of hardening

parameter	description
E_{28} [MPa]	modulus of elasticity of cured concrete
ν [-]	Poisson's ratio
$f_{c,28}$ [MPa]	unconfined compressive strength of cured concrete
$f_{t,28}$ [MPa]	uniaxial tensile strength of cured concrete
f_{c0n} [-]	standardised initial mobilised compressive strength (elastic behaviour boundary)
ϵ_{cp}^D [-]	relative deformation (plastic component) when uniaxial compressive strength is reached
a [-]	parameter controlling increase in ϵ_{cp} depending on σ_3 (ductility)
φ_{max} [°]	angle of internal friction

Table 2 Input parameters controlling the process of softening at compressive loading

parameter	description
f_{cfn} [-]	standardised failure strength
f_{cun} [-]	standardised residual compressive strength
$G_{c,28}$ [kJ/m]	compression fracture energy of cured concrete

tests with the chamber pressures of 2, 4 and 8 MPa (see Fig. 3). The best agreement between the simulation and the measured working diagram is achieved for the test with chamber pressure of 4 MPa. In the cases of the tests with the chamber pressures of 2 MPa and 8 MPa, the resultant predicted compressive strength is slightly underestimated and overestimated, respectively. It is probably caused by the fact that, in the case of the SH model, the linear Mohr-Coulomb failure condition is applied, but in reality, the failure plane is nonlinear. When the test with the chamber pressure of 8 MPa is being simulated, the process of softening is initiated at greater deformation. One of the possible explanations lies in the presence of microcracks in the specimen, which accelerated the propagation of the failure zone. Final values of all input quantities are presented in Table 3.

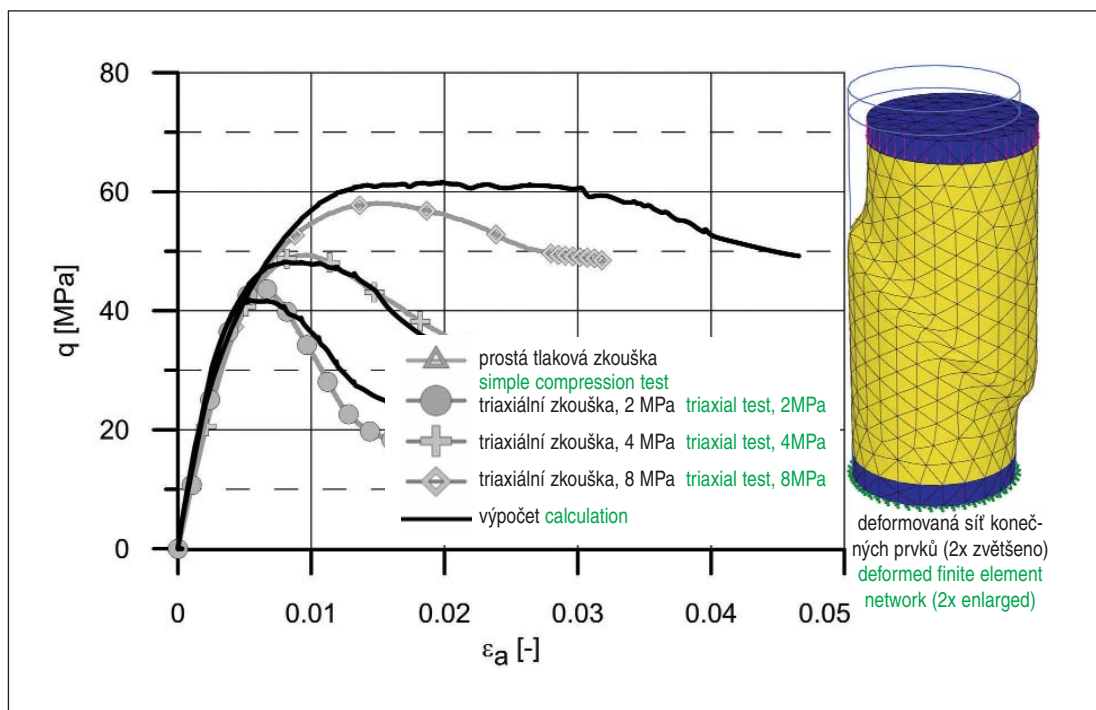
3. APPLICATION TO PRACTICAL BOUNDARY CONDITION

3.1 Basic information about the structure

The application of the SH model is presented on the example of the influence of a new structure of an existing underground structure. Concretely, the construction of an object is in question, which is according to the task generally represented by four above ground storeys and underground garages [2]. The underground structure is located in the basement, ca 30m under the current terrain surface. It is a road tunnel formed by two tunnel tubes „A“ and „B“. The tunnels are designed with a load-bearing primary lining, whilst the secondary lining is designed for carrying its own weight and possible pressure of water which would be between the primary and secondary liners.

3.2 Engineering geological and hydrogeological conditions ^{(13), (14)}

The Quaternary cover is represented by secondary loess, sandy secondary loess and loamy slope debris with granodiorite



Obr. 3 Měřené a predikované závislosti deviatoru napětí (q) – poměrná osová deformace (ϵ_a) včetně povrchového změkčování

Fig. 3 Stress deviator (q) – relative axial deformation (ϵ_a) measured and predicted dependence including post-ultimate softening

3. APLIKACE NA PRAKTICKÉ OKRAJOVÉ ÚLOZE

3.1 Základní údaje o konstrukci

Aplikace SH modelu je prezentována na příkladu vlivu nové stavby na stávající podzemní dílo. Konkrétně jde o výstavbu objektu, který je podle zadání generelně představován čtyřmi nadzemními podlažními a podzemními garážemi [2]. V podloží tohoto objektu se nachází podzemní dílo v hloubce cca 30 m pod stávajícím terénem. Jde o silniční tunel tvořený dvěma tunelovými troubami „A“ a „B“. Tunely jsou navrženy s nosným primárním ostěním a sekundární ostění je navrženo na vlastní tíhu a případný tlak vody, která by byla mezi primárním a sekundárním ostěním.

3.2 Inženýrskogeologické a hydrogeologické poměry [3], [4]

Kvartérní pokryv je zastoupený sprašovými hlínami, sprašovými hlínami písčitými a zahliněnými svahovými sutěmi s úlomky granodioritu. Předkvartérní podloží buduje masiv granodioritu, navětralý (R2–R3) až zcela zvětralý (R5–R6). Horninový masiv je tektonicky postižený rozpukáním.

Z výsledků geotechnického sledu při ražbě tunelů v předmětném úseku vyplynulo, že ve staničení km 0,712–0,850 u tunelu A a km 0,697–0,815 u tunelu B byl zastoupen typ výrubu BII–BIII. To odpovídá narušené hornině se zhoršenými geotechnickými vlastnostmi horninového masivu. Navíc byla v předmětném úseku ražbou zastižena poruchová zóna.

Z hlediska hydrogeologických poměrů byly během ražby zaznamenány místní drobné úkapy v příportálových oblastech. V ražených úsecích potom nebyl, až na km 0,822 (u tunelu A z pravého opěří), zjištěn trvalejší přítok vody. Intenzita však rychle klesala a cca po třech hodinách se jednalo již jen o drobné úkapy. Tento přítok byl označen za málo vydatnou statickou zvěď. Po hydrogeologické stránce byl proto horninový masiv ohodnocený jako suchý.

3.3 Matematický model

Zhodnocení vlivu navrhované stavby na raženou část tunelů bylo provedeno metodou konečných prvků, a to jako

fragments. The bedrock is formed by slightly weathered (R2–R3) granodiorite to completely weathered granodiorite (R5–R6). The rock mass is tectonically affected by cracking.

It followed from the results of the geotechnical face mapping during the excavation of tunnels in the section in question that the BII–BIII excavation type was represented at chainages km 0.712–0.850 of tunnel A and 0.697–0.815 of tunnel B. This corresponds to disturbed rock with worsened geotechnical properties of the massif. In addition, a fault zone was encountered in the section of excavation in question.

From the aspect of hydrogeological conditions, minor dripping was registered during the excavation in the portal areas. With the exception of chainage km 0.822 of tunnel A, no more permanent inflow of water from the right-hand bench was identified in the mined sections. The intensity quickly decreased and, ca after 3 hours, there was only minor dripping there. This inflow was determined as a little yielding static aquifer. In terms of hydrogeology, the massif was assessed as dry.

3.3 Mathematical model

The assessment of the influence of the proposed construction on the mined part of the tunnels was carried out using the Finite Element Method, as a planar deformational problem using PLAXIS 2D 2016 software. The β -method [5] was applied for taking spatial problems of the tunnel structure into account in the 2D calculation. The selection of the β -value represents a complicated task; in addition, it is not constant in reality. But it applies in general that the greater value, the higher the proportion of unbalanced forces induced by the excavation acting on the lining. Based on recommendations [6], the value $\beta=0.7$ was conservatively considered in calculations.

The 15-node triangular finite elements allowing the approximation of displacement elements using a polynomial degree 4 were used for the discretisation of the continuous continuum. The finite element network near the tunnel structure was adapted so that the number of elements with unfavourable shape was minimised.

The tunnel excavation was stabilised with resin-bonded WEIDMANN anchors during the excavation work. Unfortunately, information about their parameters (length, distribution, etc.) was not available at the moment of processing the analysis. For that reason the anchors were not incorporated into this analysis, which fact leads to a more conservative result.

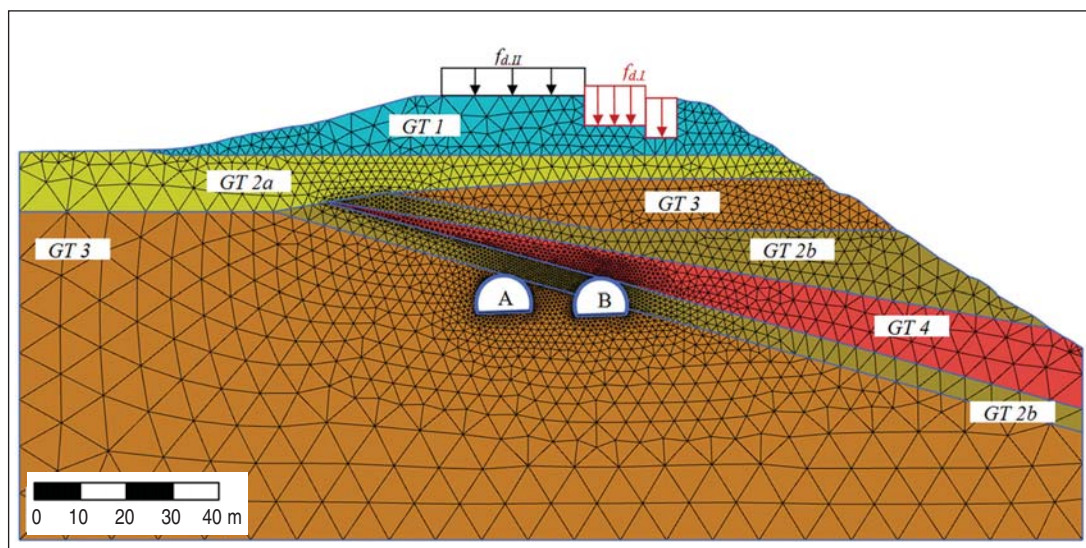
rovinně deformační úloha v programu PLAXIS 2D 2016. Pro zohlednění prostorových efektů zhotovení tunelové stavby ve 2D výpočtu byla aplikována β -metoda [5]. Volba β -hodnoty představuje složitý úkol, navíc není ve skutečnosti konstantní. Obecně ale platí, že čím je větší, tím větší je podíl nevyrovnaných sil od výrubu působících na samotné ostění. Na základě doporučení [6] byla proto ve výpočtech konzervativně uvažována hodnota $\beta=0,7$.

Pro diskretizaci spojitého kontinua byly použity 15uzlové trojúhelníkové konečné prvky, umožňující aproximaci složek posunutí pomocí polynomu 4. stupně. V blízkosti tunelové stavby byla síť konečných prvků upravena tak, aby byl minimalizován počet prvků s nepříznivým tvarem.

V průběhu ražby byl výrub stabilizován lepenými kotvami WEIDMANN. V době zpracování analýzy však nebyla k dispozici informace o jejich parametrech (délka, rozmístění, atd.), proto v této analýze nebyly zahrnuty, což vede ke konzervativnějšímu výsledku.

Geotechnický model byl sestaven na základě informací o inženýrskogeologických, hydrogeologických a geotechnických poměrech [3], [4] a [7], doplněných o zatížení od horní stavby a geometrii tunelů „A“ a „B“. Výsledný matematický model je zřejmý z obr. 4. Horninové prostředí zde bylo rozčleněno do čtyř základních geotechnických typů (dále jen GT). GT 1 zahrnuje zahliněné sutě a přemístěné eluvium v mocnosti cca 10 m. Pro eliminaci predikce nereálných deformací okolí stavební jámy pro podzemní garáže byl pro GT 1 použit Hardening soil model [8]. Pro GT 2 (granodiorit/tonalit slabě zvětralý, středně až silně rozpukavý, R4–R3) a GT 4 (granodiorit/tonalit silně rozpukavý až velmi silně rozpukavý – poruchová zóna, R5) byl použit lineárně elastický – perfektně plastický Mohr-Coulombův model. GT 2 byl dále rozdělen na GT 2a a GT 2b, s ohledem na obor napětí. Pro GT 3 (granodiorit/tonalit slabě zvětralý a středně rozpukavý, R3) byl aplikován lineárně elastický model. Vstupní parametry pro jednotlivé geotechnické typy byly převzaty jednak z podkladů [4] a [7], a u typu GT 1 stanoveny i na základě zkušeností autorů článku a odborné literatury, jsou shrnuty v tab. 4.

Pro materiál primárního a sekundárního ostění byl využit nelineární elastoplastický materiálový model Shotcrete [1]. Základní hodnoty vstupních parametrů byly stanoveny na základě tříd betonů – stříkaný beton SB30 pro primární ostění, beton B35 pro sekundární ostění [9]. Hodnoty vstupů specifických pro použitý materiálový model byly stanoveny na základě vlastních zatěžovacích zkoušek stříkaného betonu [10] a podkladu [1]. Pro strukturní prvky jsou vstupní hodnoty shrnuty v tab. 5.



Obr. 4 Celkový pohled na sestavený matematický model

Legenda: A, B – stávající městský tunel, GTx – geotechnické typy horninového prostředí, $f_{d,II}$ a $f_{d,I}$ – přitížení horní stavbou

Fig. 4 Overall view of the completed mathematical model

Legend: A, B – existing urban tunnels, GTx – geotechnical types of ground environment, $f_{d,II}$ and $f_{d,I}$ – surcharging by the upper structure

The geotechnical model was developed on the basis of information about engineering geological, hydrogeological and geotechnical conditions [3], [4] and [7], complemented by the load induced by the upper building and the geometry of tunnels „A“ and „B“. The resultant mathematical model is obvious from Fig. 4. The ground environment was in this case divided into four basic geotechnical types (hereinafter referred to as GT). GT 1 covers loamy debris and relocated eluvium with the thickness of ca 10m. The Hardening soil model [8] was used for the elimination of the prediction of unrealistic deformations in the surroundings of the construction pit for underground garages for the GT 1. A linearly elastic – perfectly plastic Mohr Coulomb model was used for GT 2 (medium to heavily jointed granodiorite/tonalite, R4–R3) and GT 4 (Heavily to very heavily jointed granodiorite/tonalite – a fault zone, R5). With respect to the range of stress, GT 2 was further divided into GT 2a and GT 2b. A linearly elastic model was applied to GT 3 (weakly weathered to medium jointed granodiorite/tonalite, R3). The input parameters for individual geotechnical types were taken over either from source documents [4] and [7] or, for GT 1 type, were determined even on the basis of experience of authors of this paper and professional literature. They are summarised in Table 4.

The Shotcrete [1] nonlinear elastic-plastic material model was used for the material of the primary and secondary linings. The basic values of input parameters were determined on the basis of concrete grades – shotcrete SC30 for primary lining, concrete C35 for secondary lining [9]. The values of inputs specific for the material model used were determined on the basis of the loading tests of shotcrete [10] and the substrate [1]. The input values for structural elements are summarised in Table 5.

Water table is not taken into consideration in the model. The terrain surface was derived from the 5th generation digital model of the terrain relief (State Administration of Land Surveying and Cadastre). The upper structure was replaced with surface loading with the intensity $f_{d,I} = 238\text{kPa}$ and $f_{d,II} = 154\text{kPa}$.

Tab. 4 Hodnoty vstupních parametrů pro zeminy a skalní horniny
Table 4 Values of input parameters for soil and rock

geotechnický typ geotechnical type	γ [kNm ⁻³]	ν [-]	E_{ur}^{ref} [MPa]	E_{50}^{ref} [MPa]	E_{ur}^{ef} [MPa]	ν_{ur} [-]	p_{ref} [kPa]	m [-]	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
GT 1	19,5 19.5	-	18	18,0 18.0	54,0 54.0	0,2 0.2	100	1,0 1.0	28,0 28.0	15,0 15.0
GT 2a	25,5 25.5	0,25 0.25	300	-	-	-	-	-	60,0 60.0	120,0 120.0
GT 2b	25,5 25.5	0,25 0.25	1 000	-	-	-	-	-	42,0 42.0	640,0 640.0
GT 3	26,5 26.5	0,20 0.20	2 000	-	-	-	-	-	-	-
GT 4	24,5 24.5	0,30 0.30	200	-	-	-	-	-	46,0 46.0	70,0 70.0

Tab. 5 Hodnoty vstupních parametrů strukturních prvků
Table 5 Values of input parameters of structural elements

materiál material	γ [kN.m ⁻³]	E_{28} [GPa]	ν [-]	$f_{c,28}$ [MPa]	$f_{t,28}$ [MPa]	ε_{cpp} [-]	a [-]	φ_{max} [°]
primární ostění – stříkaný beton třídy SB30	24,0	31,0	0,15	25,0	1,8	0,0021	18	45
sekundární ostění – beton třídy B35	24,0	33,0	0,15	30,0	2,0	0,0022	18	45
primary lining – shotcrete grade SC30	24.0	31.0	0.15	25.0	1.8	0.0021	18	45
secondary lining – concrete grade C35	24.0	33.0	0.15	30.0	2.0	0.0022	18	45

Hladina podzemní vody není v modelu uvažována. Povrch terénu byl odvozen z digitálního modelu reliéfu 5. generace (ČUZK). Horní stavba byla nahrazena plošným zatížením o intenzitě $f_{d,I} = 238$ kPa a $f_{d,II} = 154$ kPa.

Výpočet byl rozčleněn do pěti výpočetních fází popsaných v tab. 3. Ražba byla simulována zjednodušeně v jedné výpočetní etapě. Použitá posloupnost výpočetních etap (tab. 6) zajišťuje, že všechny nevyrovnané síly od výrubu jsou aplikovány na primární ostění. Sekundární ostění je tak namáhané pouze vlastní tíhou. Aktivací sekundárního ostění je dále možné sledovat změny v jeho napjatosti při dodatečném přitížení v průběhu životnosti objektu. Pro stabilizaci stěn výkopů při realizaci stavební jámy pro podzemní garáže přistavovaného objektu ve fázi č. 5 byly použity okrajové podmínky neposuvné v horizontálním směru.

Tab. 6 Použité výpočetní fáze

číslo fáze	popis	typ
1	počáteční podmínky	gravity loading
2	ražba tunelu	plastic, $\beta = 0,7$
3	realizace primárního ostění ze stříkaného betonu	plastic, $M_{stage} = 1,0$
4	realizace sekundárního ostění	plastic
5	realizace stavební jámy pro objekt podzemních garáží	plastic
6	zatížení horní stavbou	plastic

3.4 Výsledky výpočtů a zhodnocení

Analýza interakce nové horní stavby a stávajících tunelů byla provedena pro konkrétní horninové prostředí a funkční tunelové ostění. Vzhledem k rozsahu článku je prezentována pouze část výsledků, a to průběhy hlavního napětí σ_1 a středního napětí p ve střednicové rovině primárního ostění tunelu „B“, které jsou znázorněny na obr. 5. Vyhodnocení je provedeno pro stav před a po přitížení terénu novou výstavbou. Nejnižší absolutní přírůstek napětí byl sledován

The calculation was divided into the five calculation phases described in Table 3. The tunnel excavation was simulated in a simplified way, in one calculation stage. The progression of the calculation stages used (Table 6) ensures that all unbalanced forces induced by the excavation are applied directly to the primary lining. The secondary lining is therefore stressed only by the self-weight. Changes in the state of stress of the secondary lining additionally surcharged during its life can be observed by activating the secondary lining. Horizontally non-slip boundary conditions were used for the stabilisation of walls of the construction pit for the underground garages for the object to be added during phase No. 5.

Table 6 Calculation phases used

phase number	description	type
1	initial conditions	gravity loading
2	tunnel excavation	plastic, $\beta = 0.7$
3	realisation of shotcrete primary lining	plastic, $M_{stage} = 1.0$
4	realisation of secondary lining	plastic
5	realisation of construction pit for the structure of underground garages	plastic
6	loading induced by the upper structure	plastic

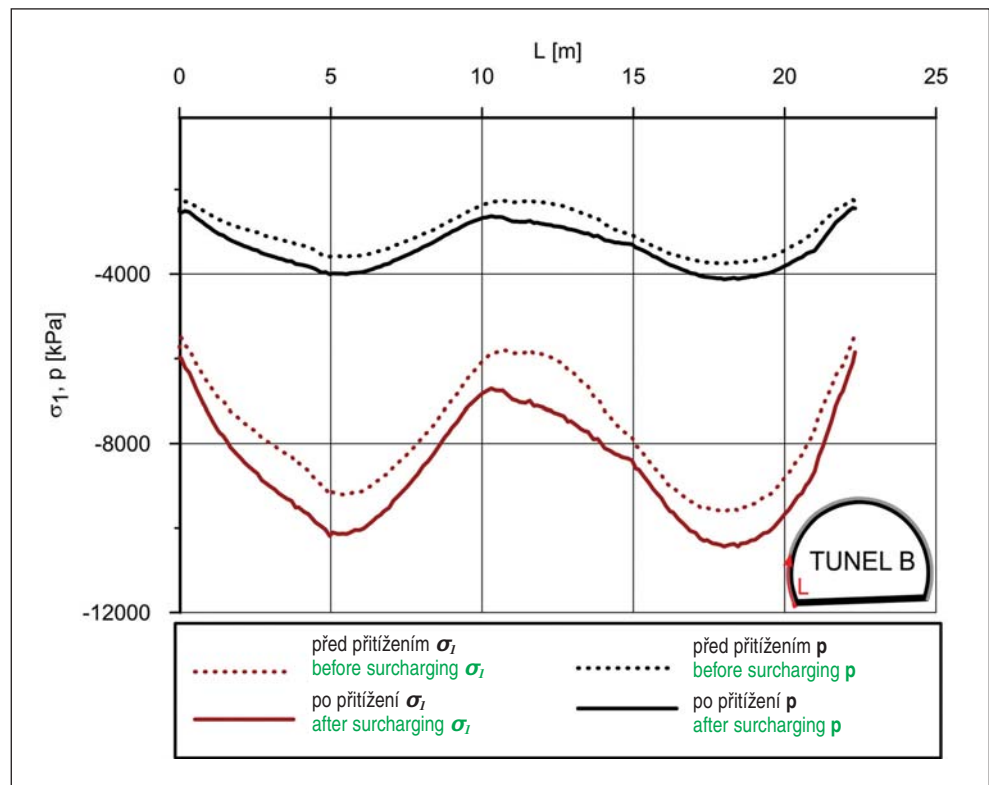
3.4 Results of calculations and assessment

The analysis of the interaction between the new upper structure and the existing tunnels was carried out for a particular ground environment and a functional tunnel lining. With respect to the scope of the paper, only a part of the results is presented, namely the courses of principal stress σ_1 and mean stress p on the midline surface of the primary lining of tunnel „B“, which are presented in Fig. 5. The assessment is carried out for the condition before and after surcharging the terrain by the new construction. The lowest

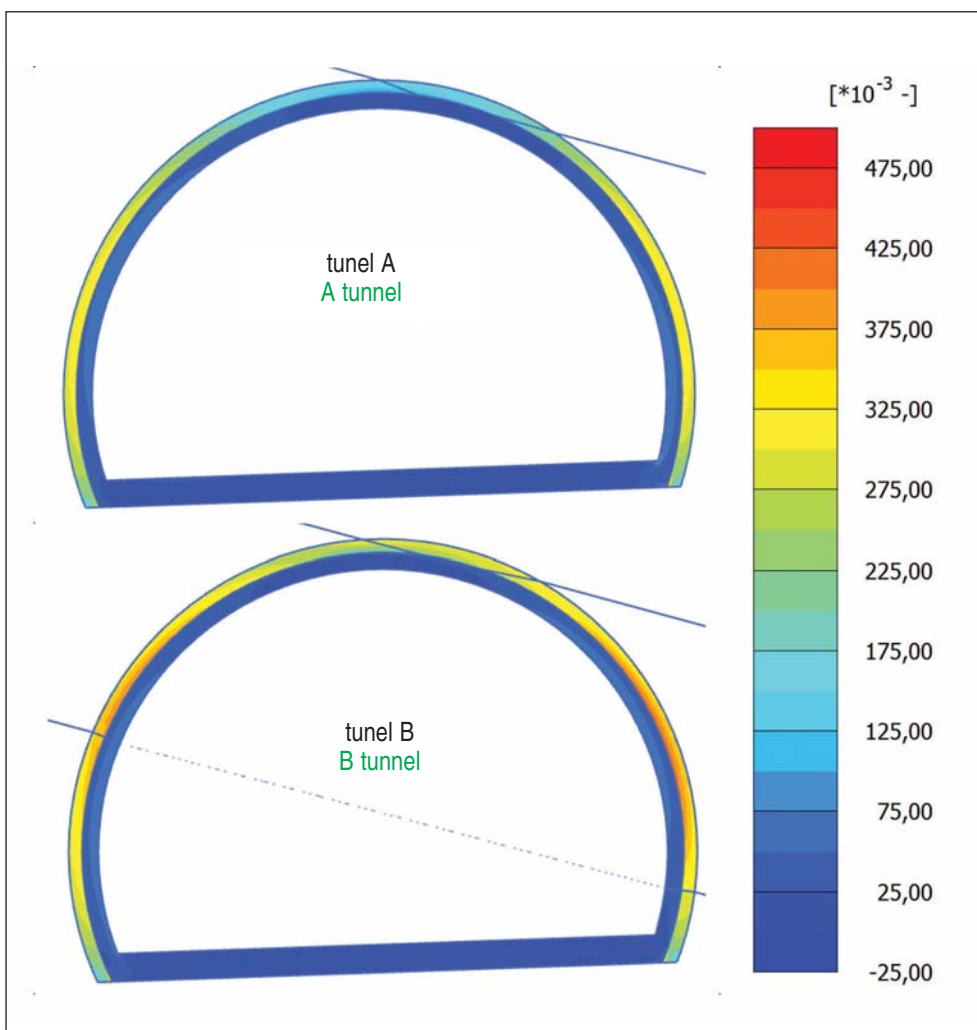
ve stropě tunelu a vyšší přírůstky napětí byly zaznamenány v oblasti opěr. Tento vývoj lze přičíst na vrub přirozené horninové klenby, která se vyvinula nad tunelem.

Stupeň využití tlakové pevnosti betonu tunelu $V_{u,c}$ po přetížení novou stavbou na povrchu je formou izoploch znázorněn na obr. 6 pro primární i sekundární ostění. Zřejmý je mírně vyšší stupeň využití primárního ostění tunelu „B“ ($V_{u,c} = 0,43$), který zasahuje do poruchové zóny se silně až velmi silně rozpukanou horninou (GT 4).

Numerická analýza vlivu nové horní stavby na stávající podzemní dílo (městský tunel) ukázala, že vzhledem k intenzitě zatížení od navrhované stavby na povrchu dojde k ovlivnění stavu napjatosti v ostění analyzované tunelové stavby. Tento vliv lze, s ohledem na vzdálenost (hloubku) tunelu a inženýrskogeologické poměry,



Obr. 5 Průběhy hlavního napětí σ_1 a středního napětí p ve střednicové rovině primárního ostění tunelu B
Fig. 5 Courses of principal stress σ_1 and mean stress p on the midline surface of the tunnel B primary lining



Obr. 6 Stupeň využití tlakové pevnosti $V_{u,c}$ primárního a sekundárního ostění obou tunelů
Fig. 6 Degree of the use of compressive strength $V_{u,c}$ of the primary and secondary liners of both tunnels

absolute increment was observed in the tunnel roof and higher increments of stress were registered in the area of side walls. This development can be attributed to the natural ground arch, which developed above the tunnel.

The degree of the use of tunnel concrete compression strength $V_{u,c}$ after surcharging by the new structure on the surface is demonstrated in the form of isosurfaces in Fig. 6, for both the primary and secondary liners. The moderately higher degree of the use of the primary lining of tunnel „B” ($V_{u,c} = 0.43$) is obvious. It extends into the fault zone with heavily to very heavily jointed rock (GT 4).

The numerical analysis of the influence of the new upper structure on the existing underground structure (an urban tunnel) showed that, with respect to the intensity of loading induced by the structure on the surface being designed, the state of stress in the lining of the tunnel structure being analysed will be influenced. With respect to the distance (depth) of the tunnel and the engineering geological conditions, this influence can be characterised as small. Limiting values viewed from the

charakterizovat jako malý. V žádném z analyzovaných případů/zatěžovacích stavů nedošlo k překročení limitních hodnot z hlediska využití únosnosti stávajícího ostění tunelové stavby. V dalších fázích projektové přípravy však bude nutné provést doplňující inženýrskogeologický a hydrogeologický průzkum; při realizaci stavby na povrchu lze doporučit GT monitoring pro ověření reálného vlivu stavebního zásahu na tunel.

5. ZÁVĚR

Simulace laboratorních zkoušek stříkaného betonu z ostění vedly v kombinaci s SH modelem k výrazně vyšší přesnosti predikce mechanického chování tohoto materiálu. Stanovení vstupních veličin (bez uvažování časového chování stříkaného betonu) bylo možné provést z dostupných laboratorních zkoušek. Aplikací na reálné okrajové úloze tunelové stavby v konkrétním horninovém prostředí s poruchovou zónou bylo možné přesněji řešit změnu stavu napjatosti v ostění vlivem nové výstavby na povrchu.

*doc. Ing. LUMÍR MIČA, Ph.D., mica.l@fce.vutbr.cz,
Ing. JURAJ CHALMOVSKÝ, Ph.D.,
chalmovsky.j@fce.vutbr.cz,
Ing. PAVEL KOUDELA, koudela.p@fce.vutbr.cz,
Ústav geotechniky, Fakulta stavební, VUT v Brně*

*Recenzovali Reviewed: doc. Dr. Ing. Jan Pruška,
Ing. Lumír Kliš*

Poděkování: Příspěvek byl vytvořen v rámci řešení programu Centra kompetence Technologické agentury České republiky (TAČR) v rámci projektu Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI), číslo projektu TE01020168 a 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“.

aspect of the use of the loading capacity of the existing lining of the tunnel structure were not exceeded in any of the analysed cases/loading states. Nevertheless, it will be necessary in other design preparation phases to carry out supplementary engineering geological and hydrogeological survey; it is possible to recommend GT monitoring to be conducted during the realisation of the construction on the surface with the aim of verifying the real influence of the construction work on the tunnel.

5. CONCLUSION

The simulation of laboratory tests of sprayed concrete from the lining led, in combination with the SH model, to significantly higher accuracy of prediction of the mechanical behaviour of this material. The input quantities (without taking the time-related behaviour into consideration) could be determined using the laboratory tests available. Owing to the application to the real boundary problem of a tunnel structure in a particular ground environment with a fault zone, it was possible to solve the change in the state of stress in the lining due to the influence of the new construction on the surface.

*doc. Ing. LUMÍR MIČA, Ph.D., mica.l@fce.vutbr.cz,
Ing. JURAJ CHALMOVSKÝ, Ph.D.,
chalmovsky.j@fce.vutbr.cz,
Ing. PAVEL KOUDELA, koudela.p@fce.vutbr.cz,
Ústav geotechniky, Fakulta stavební, VUT v Brně*

Acknowledgements: The paper was created within the framework of the solution to the programme of the Competence Centre of the Technology Agency of the Czech Republic within the framework of the Centre for Effective and Sustainable Transport Infrastructure (CESTI) project, project No. TE01020168 and project No. LO1408 „AdMaS UP – Advanced Building Materials, Structures and Technologies” supported by the Ministry of Education, Youth and Sports within the framework of the targeted support the “National Sustainability Programme I”.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] SCHÄDLICH, B., SCHWEIGER, H. F. A new constitutive model for shotcrete. In: *Numerical Methods in Geotechnical Engineering*, 2014, p. 103–108
- [2] Rekonstrukce a dostavba objektu RD, II. etapa, Ulice Pisárecká 13, Brno. Dokumentace pro vydání rozhodnutí o umístění stavby. Ateliér RAW. 12/2017
- [3] Doplňkový inženýrskogeologický průzkum, Brno – Pražská radiála. GEOTest a.s., 3/1995
- [4] Tunely – geologický sled, Závěrečná zpráva, Brno – Pražská radiála. GEOTest a.s., 7/1997
- [5] SCHIKORA, K., FINK, T. Berechnungsmethoden moderner bergmannischer Bauweisen beim U-Bahn-Bau. *Bauingenieur* 57, 1982, p.193–198
- [6] MOLLER, S. C., VERMEER P. A. On design analysis of NATM tunnels. *Underground Space Use. Analysis of the Past and Lessons for the Future*, 2005
- [7] Doplňující inženýrskogeologický průzkum, Pražská radiála, Tunel Nový Lískovec. GEOTest a.s. a VUT FAST Brno, 10/1992
- [8] SCHANZ, T., VERMEER, P. A., BONNIER, P. G. The hardening soil model: Formulation and verification. In: *Proceedings Beyond 2000 in Computational Geotechnics – 10 years of Plaxis*. 1999, p. 281–296
- [9] HORÁK, V. VMO Pražská radiála, D 201, D 202 – Tunelová část Pisárky – Nový Lískovec, Část A. Průvodní zpráva. Amberg Engineering, 01/1995
- [10] CHALMOVSKÝ, J., ZÁVACKÝ, M., MIČA, L. Calibration of an advanced material model for a shotcrete lining. In: *BESTInfra Conference, Czech Technical University. Prague*, 2017

GEOTECHNICKÁ LABORATOŘ VE VÝZKUMNÉM CENTRU AdMaS GEOTECHNICAL LABORATORY AT THE AdMaS RESEARCH CENTRE

MARTIN ZÁVACKÝ, JAN ŠTEFAŇÁK

ABSTRAKT

Podzemní stavby se obvykle realizují v prostředí skalních nebo poloskalních hornin. Právě jejich ražba je tématem mnohých příspěvků v časopise Tunel. Tento článek však bude jistou výjimkou, protože se věnuje ne přímo výstavbě, ale testování hornin, které tvoří prostředí pro podzemní díla. Přiblížena bude laboratorní aparatura pro zkoušení hornin, možnosti jejího využití pro různé testy a bude ukázáno několik příkladů výstupů ze zkoušek.

ABSTRACT

Underground structures are usually realised in environments formed by hard or weak rock. Driving tunnels through them has been a topic of numerous papers in TUNEL journal. Nevertheless, this paper will be a certain exception because of the fact that it dedicates itself to testing of rock forming the environment for underground structures instead of dealing directly with the construction. It will also describe the rock testing laboratory instrumentation, possibilities of its use for various tests and will present several examples of test outputs.

ÚVOD

V časopisu Tunel se často zmiňuje problematika určování hodnot geotechnických parametrů hornin, jejichž znalost je nezbytná pro bezpečný a hospodárný návrh a provedení podzemní stavby. Jen málo článků se však zabývá tím, jak získat hodnoty například pevnostních nebo deformačních charakteristik. Laboratorní práce jsou běžně v zákulisí projekce a samotné výstavby. To je možná také důvodem, proč není mezi tuneláři tak diskutována. Příspěvek je proto věnován právě práci v laboratoři, kde se stanovují geomechanické parametry horninových materiálů.

V roce 2015 bylo v rámci Fakulty stavební VUT v Brně otevřeno nové vědecko-výzkumné centrum AdMaS (Advanced Materials and Structures). V širokém spektru stavebních specializací, které se v centru nacházejí, má své místo i geotechnika a geomechanika. Původně byly v laboratoři umístěny pouze přístroje pro testování zemin, ale počínaje rokem 2016 bylo vybavení postupně rozšířeno také pro testování skalních hornin. V současné době tedy laboratoř dokáže pokrýt celý proces, a to od výroby zkušebních těles ze skalních hornin, přes samotné testování, až po vyhodnocení výsledků zkoušek.

PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ A PROVÁDĚNÉ ZKOUŠKY

Skalní horniny

Hlavním prvkem pro testování skalních hornin v laboratoři centra AdMaS je multifunkční přístrojová sestava pro automatické zkoušky v jednoosé a trojosé napjatosti (obr. 1). Skládá se ze dvou zatěžovacích rámců s kapacitou 500 kN a 3000 kN ovládaných servo-hydraulickou jednotkou. Druhá servo-hydraulická jednotka zajišťuje ovládání triaxiální komory, je-li do testu zařazena. Celou sestavu je možné obsluhovat pomocí připojeného PC se softwarem pro ovládání testů a ukládání měření [1].

Variabilita uvedené sestavy spočívá v možnosti výběru kapacity zatěžovacího rámu podle očekávané síly potřebné k porušení zkušebního tělesa, přičemž platí, že při nižší kapacitě je dosažena vyšší citlivost měření a tedy i ovládání. Dalším prvkem variability je možnost přímého vložení

INTRODUCTION

Problems of determination of the values of geotechnical parameters of rock, the knowledge of which is necessary for the safe and economical design and realisation of underground structures, are frequently mentioned in TUNEL journal. On the other hand, only few papers deal with the way of obtaining the values of, for example, strength-related or deformational characteristics. Laboratory work is common behind the scenes of designing and construction itself. It is possibly the reason why it is not discussed so much among tunnel builders. The paper is therefore dedicated to the work in laboratories, where geomechanical parameters of rock environment are determined.

A new scientific-research centre, the AdMaS (Advanced Materials and Structures), was opened within the framework of the Faculty of Civil Engineering of the Brno University of Technology in 2015. Geotechnics and geomechanics have also their position within the wide spectrum of civil engineering specialisations the centre engages itself in. Originally, only soil testing instruments were installed in the laboratory, but, from 2016, the equipment was step by step expanded to allow testing of rock. So currently the laboratory is able to cover the entire process from production of test rock specimens through performing tests themselves, up to assessing test results.

TESTING EQUIPMENT AND INSTRUMENTS; CONDUCTED TESTS

Hard rock

The main hard rock testing element in the AdMaS centre laboratory is represented by a multifunctional set of equipment and instruments for automatic testing of hard rock in uniaxial and triaxial state of stress (see Fig. 1). It consists of two loading frames with the capacity of 500kN and 3000kN, which are controlled by a servo-hydraulic unit. The other servo-hydraulic unit secures the control of the triaxial chamber (if it is incorporated into the test). The whole set can be operated by means of a PC with software for controlling the tests and storing measurement outputs [1].



Obr. 1 Přístrojová sestava pro testování hornin
Fig. 1 Rock testing set of equipment and instruments

zkušební tělesa mezi čelisti hydraulického lisu v případě jednoosé tlakové zkoušky, nebo vložení různých adaptérů a doplňkových zařízení pro provádění zkoušek vyžadujících specifický typ zatížení. Takovým případem je například brazilská zkouška pro stanovení pevnosti v příčném tahu nebo triaxiální tlaková zkouška. Posledním stupněm variability je možnost připojení různých typů snímačů, které lze využít i pro řízení průběhu zkoušky.

Nejzajímavější z výše uvedeného sortimentu je triaxiální tlaková zkouška. Provádí se na válcových tělesech, kde se na podstavy nanáší osové napětí σ_1 a na plášť radiální neboli komorové napětí $\sigma_2 = \sigma_3$. V případě popisovaného přístroje se na vyvození radiálního napětí používá Hoekova buňka (obr. 2). Jde o masivní ocelovou komoru, do které se vhání hydraulický olej přenášející tlak až do velikosti 70 MPa na plášť zkušební tělesa. V komoře je umístěna pružná plastová membrána, do které se vkládá vzorek tak, aby nedocházelo k jeho kontaktu s olejem. Membrána zároveň tvoří těsnění okruhu hydraulického oleje. Na podstavy vzorku se umístí ocelové válečky průměru shodného se vzorkem, které jsou přes vložené klouby opřeny o čelisti lisu vyvolující osové napětí σ_1 .

Jistou nevýhodou popsaného systému je, že komora je uzpůsobena k testování pouze jednoho průměru zkušebních vzorků. V případě požadavku na jinou velikost těles lze v testovací sestavě komoru vyměnit. V současné době je geotechnická laboratoř centra AdMaS vybavena třemi Hoekovými buňkami s průměry 38,1 mm; NQ 47,6 mm a NX 54,7 mm. Standardní štíhlostní poměr vzorků pro triaxiální testy je $L/D = 2,0$.

Zkoušky v daném přístroji, a to nejenom triaxiální, lze provádět různým způsobem v závislosti na režimu zatěžování a typu připojených snímačů. První možností je řízení síly, resp. napětí, aplikovaného na vzorek pomocí siloměru osazeného v zatěžovacím rámu. Druhou možností je řízení osové deformace vzorku pomocí LVDT snímačů. Druhý uvedený postup oproti prvnímu umožňuje získat celý pracovní diagram testovaného materiálu, tedy i jeho sestupné větve po dosažení vrcholové pevnosti. To znamená, že lze získat deformační parametry různě porušeného vzorku, které mohou být velmi významné pro řešení praktických geotechnických úloh, neboť

The variability of the above-mentioned set lies in the possibility of options for selecting the loading frame capacity according to the expected force necessary for breaking the test specimen, where it applies that higher sensitivity of measurements, therefore also the control sensitivity, is achieved at a lower capacity. Another variability element is the possibility of inserting the test specimen directly between the jaws of the hydraulic press in the case of the uniaxial compression test or inserting various adapters and supplementary fittings for conducting tests requiring a specific loading type. Such a case is represented, for example, by the Brazilian disk test (splitting tensile test) for determining the tensile splitting strength or the triaxial compression test. The last degree of variability is represented by the possibility of connecting various types of transducers which can be used even for controlling the testing process.

The triaxial compression test is the most interesting from the above-mentioned assortment. It is conducted on cylindrical bodies, where axial load σ_1 is applied to the bases and radial tension (or chamber tension) $\sigma_2 = \sigma_3$ is applied to the envelope. In the case of the instrument being described, the Hoek cell is used for generation of confining stress (see Fig. 2). It is a massive steel chamber which hydraulic oil transferring pressure up to the magnitude of 70MPa to the envelope of the test specimen is forced into. An elastic plastic membrane by which the specimen is enveloped so that its contact with oil is prevented is installed in the chamber. The membrane at the same time seals the hydraulic oil circuit. Steel rollers with the diameter identical with the diameter of the specimen are placed on the bases of the specimen. They are held in position through inserted hinges by the jaws of the press inducing axial stress σ_1 .

The fact that the chamber is adapted for testing of only one diameter of test specimens is a certain disadvantage of the system described above. In the case of a requirement for a different size of specimens, it is possible to change the chamber in the testing set. The geotechnical laboratory of the AdMaS centre is currently equipped with three Hoek cells with diameters of 38.1mm, NQ 47.6mm and NX 54.7mm. The standard slenderness ratio of specimens for triaxial tests $L/D = 2.0$.

Tests in the particular apparatus, not only triaxial ones, can be carried out in various ways, depending on the loading regime and the type of transducers connected to it. The first possibility is the control of the force, or the stress, applied to the specimen by means of a force gauge installed in the loading frame. Another possibility is the control of axial deformation of a specimen by means of LVDT transducers. In comparison with the first procedure, this procedure allows for obtaining the whole working diagram of the tested material, so also its descending branches after reaching the ultimate uniaxial compressive strength. It means that it is possible to obtain deformational parameters of a disturbed specimen which may be very important for solving practical geotechnical problems because in-situ rock material is also usually found at various stages of disturbance. The last possibility is the application of tape strain gauges glued to the specimen, which allow for determining Poisson's ratio in addition to the modulus of elasticity and modulus of deformation.

As far as testing in the area of rock mechanics is concerned, the following tests are currently commonly conducted in the geotechnical laboratory of the AdMaS centre: splitting tensile

horninový materiál in-situ je obvykle také v různém stadiu porušení. Poslední možností je aplikace nalepených páskových odporových tenzometrů, kterými lze kromě modulu pružnosti a modulu deformace stanovit i Poissonovo číslo.

Co se týče testování v oblasti mechaniky hornin, jsou v geotechnické laboratoři centra AdMaS v současné době běžně prováděny: zkouška pevnosti v příčném tahu, jednoosá tlaková zkouška s možností stanovení deformačních charakteristik pomocí odporových tenzometrů a triaxiální tlakové zkoušky s možností kontroly deformace pro získání pracovního diagramu i ve fázi po porušení materiálu.

Zemliny

Podzemní stavby je někdy nutno razit také v prostředí zemin, i když to obvykle přináší řadu komplikací. Právě v Brně se nachází poměrně hodně podzemních objektů situovaných v neogenním jílu, tzv. téglu, který tvoří značnou část podloží města. Jde například o síť kolektorů nebo o Královopolský tunel, tvořící součást velkého městského okruhu. Jak již bylo zmíněno v úvodu, geotechnická laboratoř v centru AdMaS disponuje přístroji na testování zemin, které se vzhledem k místním poměrům také mohou uplatnit při získávání údajů pro podzemní stavitelství.

Pro stanovení zejména pevnostních parametrů zemin (totálních i efektivních) je používán triaxiální přístroj Wille se zatěžovacím rámem schopným vyvodit maximální zatížení 60 kN. Hydraulický systém přístroje je řízen dvěma servopumpami s rozsahem tlaku do 2 MPa. Pomocí triaxiálního přístroje lze provádět jak standardní (UU, CU, CD) zkoušky s izotropní či anizotropní konsolidací, tak např. modelovat zvolené dráhy napětí. Tyto operace lze provádět na vzorcích průměru 38, 50, 70 a 100 mm. Méně standardní příslušenství triaxiálního přístroje tvoří tzv. thermokomora (obr. 3 vlevo), pomocí níž lze mimo mechanické namáhání vzorku modelovat současně i namáhání teplotní, a to v rozsahu od $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$. To je velkou výhodou například pro zkoušení bentonitů tvořících inženýrské bariéry v hlubinných úložišťích radioaktivního odpadu, které se zahřívají.

Ke stanovení deformačních charakteristik zemin je v laboratoři používán automatický edometrický přístroj se zatěžovacím rámem s kapacitou 10 kN, v němž lze testovat vzorky průměru 50, 70 a 100 mm při maximálním tlaku 5 MPa.



Obr. 3 Plášť triaxiální komory s regulační jednotkou pro teplotní zatěžování vzorku (vlevo) a Rowe-Barden konsolidační systém (vpravo)

Fig. 3 Envelope of triaxial chamber with a regulation unit for thermal loading of a specimen (for the left) and the Rowe-Barden consolidation system (for the right)



Obr. 2 Hoekova buňka vložená do lisu

Fig. 2 Hoek cell inserted into a press

tests, uniaxial compression tests allowing for determining deformational characteristics by means of resistance strain gauges and triaxial compression tests allowing for checking the deformation for obtaining the working diagram even at the stage after the material is disturbed.

Soils

Excavation for underground structures has sometime to pass through an environment formed by soils, despite the fact that it usually causes a range of complications. It is just in Brno where relatively numerous underground structures are located in Neogene clay, the so-called Brno Tegel, which forms a significant part of the city basement. It is, for example, the case of the network of utility tunnels or the Královo Pole tunnel forming a part of the Large City Ring Road. As mentioned in the introduction, the geotechnical laboratory at the centre has apparatuses for testing soils at its disposal. With respect to the local conditions, they can also come in useful in obtaining data for underground structural engineering.

The strength-related parameters of soils (total ones as well as effective) are mainly determined by means of a Wille triaxial testing apparatus with a loading frame capable of inducing the maximum loading force of 60kN. The hydraulic system of the apparatus is controlled by two servopumps with the pressure range up to 2MPa. The triaxial apparatus can be used for both standard (UU, CU, CD) tests with isotropic or anisotropic consolidation and, for example, modelling of selected stress paths. Those operations can be conducted on specimens 38, 50, 70 and 100mm in diameter. The less standard accessory of the triaxial apparatus is formed by the so-called thermal chamber (see Fig. 3 left), which can be used for modelling not only of mechanical stressing of the specimen, but at the same

Tab. 1 Přehled zkoušených hornin

geneze hornin	hornina	oblast
usazené horniny	pískovec	Děčín
	vápenec	Český kras
	břidlice	Štěchovice
	tufit	Vrané nad Vltavou
	opuka	Česká Skalice
	slínovec	Velké Opatovice
	slepenec	Brněnský masiv
	droba	Oderské vrchy
	vápenec	Čachtice (SK)
vyvřelé horniny	trachyt	Ústí nad Labem
	syenit	Třebíčský masiv
	bazické enklávy v syenitu	Třebíčský masiv
	granodiorit	Dolní Kounice
přeměněné horniny	pararula	Krušné hory
	fylit	Krkonoše
	spilit	Plzeň
	ortorula	Posázaví
	amfibolit	Hanušovice
	rula	Detva (SK)

Využit lze také speciální tzv. Rowe-Barden konsolidační systém (obr. 3) který umožňuje provádět zkoušky na vzorku průměru 100 mm kontinuálním zatěžováním, přírůstkovým zatěžováním, nebo konstantní rychlostí deformace. Systém Rowe-Barden taktéž umožňuje oproti standardnímu edometru nasycení vzorku a následné měření pórového tlaku během testu.

Hydraulickou vodivost zeminy lze zkoumat pomocí propustoměrné aparatury, která umožňuje stanovení koeficientu filtrace. Zkoušet lze vzorky průměru 100 mm při maximálním tlaku vody v buňce rovném 1 MPa. Systém je také vybaven speciální komorou pro testování chemicky kontaminovaných vzorků.

TESTOVANÉ MATERIÁLY

Od roku 2016, kdy se v geotechnické laboratoři centra AdMaS začaly testovat horniny, zde byla odzkoušena pestrá paleta materiálů. Testované horniny pokrývají značnou část České republiky a to jak geograficky, tak litologicky (tab. 1). Do zkušebního programu se dostaly také horniny ze Slovenska, i když aktuálně ve značně menším rozsahu. Většinou jde o horniny odebrané z kamenolomů nebo liniových dopravních staveb při průzkumu nebo realizaci. Účelem testování je zejména výzkum mechanických vlastností se zaměřením na deformační charakteristiky a chování v podmínkách triaxiální napjatosti.

Kromě hornin přírodního původu se v laboratoři AdMaS testují i umělé materiály na bázi cementu. Konkrétně jde o stříkaný beton z tunelových ostění, například z brněnských kolektorů, který je v této skupině nejpočetnější. Dále byla testována směs tryskové injektáže a cementová zálivka zemních kotev. Nejde však o běžné postupy zkoušení stavebních hmot, ale například o deformačně řízené testy v jednoosém, nebo trojosém tlaku za účelem získání hodnot vstupních

Table 1 Overview of tested ground types

rock genesis	rock type	area
sedimentary rock	sandstone	Děčín
	limestone	Czech karst
	shale	Štěchovice
	tuffite	Vrané nad Vltavou
	cretaceous marl	Česká Skalice
	marlstone	Velké Opatovice
	conglomerate	Brno massif
	greywacke	Odra Hills
	limestone	Čachtice (SK)
igneous rock	trachyte	Ústí nad Labem
	syenite	Třebíč massif
	basic enclaves	
	within syenite	Třebíč massif
	granodiorite	Dolní Kounice
metamorphic rock	paragneiss	Krušné hory
	phyllite	Krkonoše
	spilite	Plzeň
	orthogneiss	Posázaví
	amphibolite	Hanušovice
	gneiss	Detva (SK)

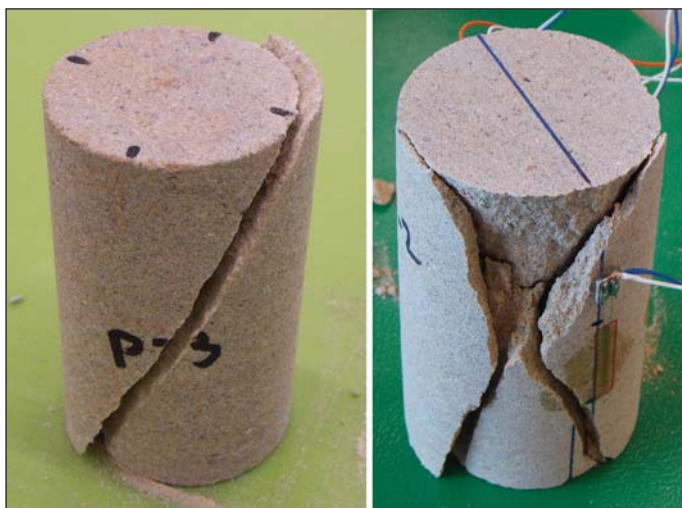
time also of thermal stressing within the range from -10°C to $+70^{\circ}\text{C}$. This is a great advantage, for example, for testing bentonites forming engineering barriers at deep radioactive waste repositories, which are heated.

Deformational characteristics of soils are determined in the laboratory using an oedometer with a 10kN – capacity loading frame which can be used for testing specimens 50, 70 and 100mm in diameter under the maximum pressure of 5MPa. It is also possible to use the so-called Rowe-Barden consolidation system (see Fig. 3) allowing for conducting tests on a 100mm-diameter specimen by continual loading, incremental loading or a constant deformation rate. In comparison with the standard oedometer, the Rowe-Barden system also allows for the saturation of the specimen and subsequent measurement of pore pressure during the course of the test.

Hydraulic conductivity of soil can be examined by means of a permeability measurement apparatus allowing for determining the filtration coefficient. It is possible to test specimens 100mm in diameter at the maximum hydraulic pressure equal to 1MPa. The system is in addition equipped with a special chamber for testing chemically contaminated specimens.

TESTED MATERIALS

A wide variety of materials have been tested in the geotechnical laboratory of the AdMaS centre since 2016, in which testing of rock at the centre started. The tested rock types cover a significant part of the Czech Republic, both in terms of geography and lithology (Table 1). Even rock specimens from Slovakia got to the testing programme, even though currently to a much lesser extent. The specimens were mostly obtained from quarries or linear traffic construction sites during exploration or realisation. The purpose of testing lies in particular in the investigation into mechanical properties

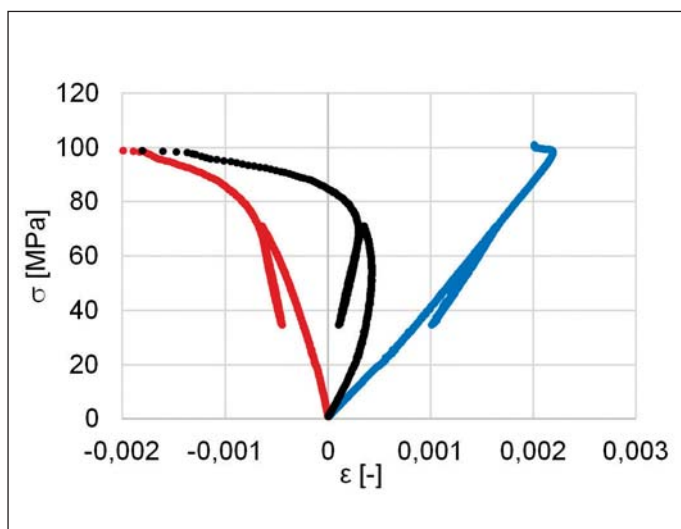


Obr. 4 Porušené vzorky pískovce po triaxiální zkoušce (vlevo) a po zkoušce v jednoosém tlaku s nalepenými odporovými tenzometry (vpravo)
 Fig. 4 Disturbed specimens of sandstone after triaxial test (for the left) and after uniaxial compression test, with resistance strain gauges glued to the specimen (for the right)

parametrů pokročilých materiálových modelů využívaných v matematickém modelování. Na Ústavu geotechniky FAST VUT jsou tyto zkoušky využívány pro kalibraci parametrů Shotcrete modelu, který dokáže velmi podrobně a realisticky simulovat chování betonu [2] a jemu podobných materiálů s cementovým pojivem. Tento materiálový model byl vyvinut v roce 2014 v Rakousku, primárně pro numerickou analýzu tunelových ostění ze stříkaného betonu. S jeho použitím lze dosáhnout významný posun v kvalitě geotechnických výpočtů, zejména v oblasti podzemních staveb, ale i jiných složitých geotechnických úkolů.

PŘÍKLADY VÝSTUPŮ ZE ZKOUŠEK

Jak již je uvedeno výše, testování hornin v geotechnické laboratoři centra AdMaS se zaměřuje, kromě jiného, na studium deformačních vlastností hornin. Ty jsou obvykle zjišťovány měřením přetvoření pomocí odporových tenzometrů při zkouškách pevnosti v prostém tlaku (obráz. 4 vpravo).



Obr. 5 Měření přetvoření vzorku syenitu při zatěžování jednoosým tlakem, modrá – osové přetvoření, černá – objemové přetvoření, červená – radiální přetvoření

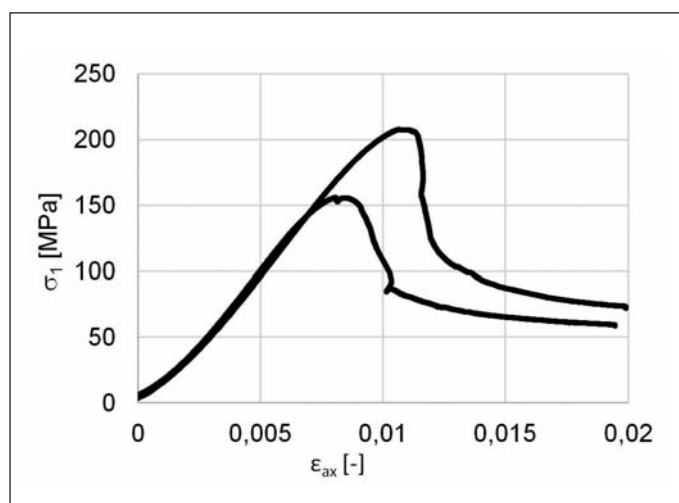
Fig. 5 Measurement of deformation of syenite specimen during loading by uniaxial pressure, blue colour – axial deformation, black – volumetric deformation, red – radial deformation

focused on deformational characteristics and behaviour in the conditions of triaxial state of stress.

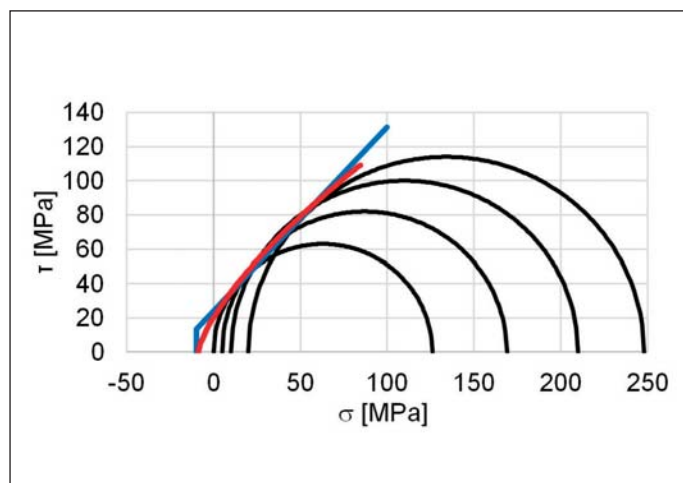
In addition to natural origin rock, cement-based artificial materials are tested at the AdMaS laboratory. Specifically, sprayed concrete from tunnel linings, for example concrete from Brno utility tunnels, which is most numerous in this group. Further tested material was the jet grouting mixture and cement grout surrounding earth anchors. But it is not a case of common procedures for testing building materials. The testing comprises, for example, deformationally controlled tests in uniaxial or triaxial compression for the purpose of obtaining values of input parameters of advanced material models used in mathematical modelling. Those tests are used at the Institute of Geotechnics of the Faculty of Civil Engineering of the Brno University of Technology for calibrating parameters of the Shotcrete model, which manages to simulate in a very detailed and realistic way the behaviour of concrete [2] and materials with a cement binder similar to it. This material model was developed in Austria in 2014, primarily for numerical analysing of shotcrete tunnel linings. By using it, it is possible to achieve a significant shift in the quality of geotechnical calculations, in particular in the field of underground construction, but also other complicated geotechnical problems.

EXAMPLES OF TESTING OUTPUTS

As mentioned above, testing of rock at the geotechnical laboratory of the AdMaS centre is focused, apart from other tasks, on studying deformational properties of rock. They are usually determined by measuring the strain by means of resistance strain gauges during the unconfined compressive strength tests (see Fig. 4 right). Apart from axial strain measured for the purpose of the determination of the modulus of elasticity and modulus of deformation, radial strain is also measured using strain gauges installed perpendicularly to the axis of the loading being applied. It is possible by using the data to determine Poisson's ratio and calculate the volumetric deformation, on which the individual phases of the material disturbance are manifested in a more marked way (see Fig. 5). The above-mentioned record captures even the discharging of stress down from the level of 70 MPa. The modulus of elasticity and Poisson's ratio are determined just from the discharging branch of the working diagram.



Obr. 6 Pracovní diagramy pro syenit získané z triaxiálních zkoušek
 Fig. 6 Working diagrams for syenite obtained from triaxial tests



Obr. 7 Vyhodnocení sady triaxiálních zkoušek pro bazické enklávy v syenitu, zobrazena Mohr-Coulombova (modrá) a Hoek-Brownova (červená) čára porušení

Fig. 7 Assessment of a set of triaxial tests for basic enclaves within syenite; Mohr-Coulomb (blue) and Hoek-Brown (red) failure curves are depicted

Kromě osového přetvoření pro stanovení modulu pružnosti a modulu deformace se měří i radiální přetvoření pomocí tenzometrů umístěných kolmo k ose nanášeného zatížení. Z těchto údajů lze určit i Poissonovo číslo a dopočítat objemové přetvoření, na kterém se výrazněji projevují jednotlivé fáze porušování materiálu (obr. 5). V uvedeném záznamu je zachyceno i odlehčování z úrovně napětí 70 MPa. Právě z odlehčovací větve pracovního diagramu se stanovují modul pružnosti a Poissonovo číslo.

Zajímavým typem zkoušky jsou triaxiální testy, ze kterých lze odvodit parametry smykové pevnosti hornin. K jejich určení je však nutné znát více bodů porušení, z čeho vyplývá potřeba provedení vícero testů na různých vzorcích téhož materiálu při odlišných komorových napětích. Obecně platí, že při vyšším působícím komorovém napětí se dosáhne i vyšší osové napětí při porušení. V prezentovaném pracovním diagramu ze zkoušek syenitu (obr. 6) jsou vykresleny křivky osového přetvoření za působení komorového tlaku 5 MPa, resp. 10 MPa, které potvrzují zmíněný nárůst vrcholové pevnosti. U tohoto případu stojí za povšimnutí i záznam sestupné větve pracovního diagramu. Testy byly kontrolovány osovou deformací, což v závislosti na typu horniny a rychlosti odezvy ovládaní přístroje umožňuje zachytit vývoj porušování až do ustálené reziduální pevnosti.

Vyhodnocení sady triaxiálních zkoušek lze provádět, podobně jako u zemin, pomocí lineární Mohr-Coulombovy podmínky porušení (obr. 7). V souřadnicích hlavních a smykových napětí jsou vykresleny Mohrovy kružnice proložené společnou tečnou udávající parametry úhlu vnitřního tření a zdánlivé soudržnosti. Jiným přístupem je zavedení nelineární Hoek-Brownovy podmínky porušení (obr. 7). Je definována parabolickou křivkou, z čeho vyplývá o něco komplikovanější zápis [3]. Výhodou je lepší aproximace skutečného chování hornin v krajních oblastech zkoumaného intervalu pevností. Nedochází tudíž například k nereálnému nadhodnocování tahových pevností.

Jak již bylo zmíněno, testuje se v laboratoři také stříkaný beton za účelem stanovení hodnot vstupních parametrů Shotcrete modelu. Příkladem takové úspěšné kalibrace je záznam osového přetvoření betonu v průběhu triaxiální

Triaxial tests, from which the shear strength parameters can be derived, are an interesting type of the tests. However, it is necessary for the determination of the parameters to know more disturbance points. It follows from this fact that more tests have to be conducted on various specimens of the same material using different chamber stresses. It applies in general that a higher axial stress at the moment of failure is achieved at a higher chamber stress. The working diagram from tests on syenite (see Fig. 6) presents curves for axial deformation under the chamber pressure of 5 MPa, or 10 MPa confirming the above-mentioned increase in the peak strength. At this case the recording of the descending branch of the working diagram is also worth noting. The tests were controlled by axial deformation. It allowed for capturing the development of breaking the specimen until the stabilised residual strength was reached (depending on the rock type and the speed of the apparatus control).

The set of triaxial tests can be assessed similarly to assessing soils, using the linear Mohr-Coulomb failure condition (see Fig. 7). Mohr's circles with a common tangent giving the parameters of the angle of internal friction and the apparent cohesion inset through them are drawn in the coordinates of principal stresses and shear stresses. Another approach lies in introducing the non-linear Hoek-Brown failure condition (see Fig. 7). It is defined by a parabolic curve. It follows from this fact that the record is a little more complicated [3]. It is an advantage that the approximation of the real behaviour of rock in the edge areas of the interval of strength is better. For that reason, for example, tensile strength is not overestimated non-realistically.

As mentioned above, sprayed concrete is also tested at the laboratory with the objective to determine the values of input parameters of the Shotcrete model. As an example of such successful calibration it is possible to mention the recording of axial deformation of concrete during the course of a triaxial test with the chamber stress of 4 MPa and its comparison with the curve for the test simulated using the Finite Element Method (see Fig. 8) [4]. Worth attention is first of all the significant agreement of results in the phase of failing the sprayed concrete after the ultimate uniaxial compressive strength is exceeded. It demonstrates the qualities of the material model used. It is possible to achieve much more accurate results in comparison with commonly used simpler material models by its application to the analysis of complicated underground structures.

CONCLUSION

After a longer time, during which rock testing was neglected at the Institute of Geotechnics of the Faculty of Civil Engineering of the Brno University of Technology, the current situation is significantly changing. Laboratories of the institute have modern equipment at their disposal, meeting the current requirements for the determination of mechanical properties of rock. It is true that building virtually the entire rock testing branch in a geotechnical laboratory is a challenging task, but the process of gradual introduction of internationally recognised standards and production of results, bearing favourable comparison with other laboratories established not only in the Czech Republic, proceeds successfully.

zkoušky při komorovém napětí 4 MPa a jeho srovnání s křivkou testu simulovaného pomocí metody konečných prvků (obr. 8) [4]. Za pozornost stojí především značná shoda výsledků ve fázi porušování stříkaného betonu po překročení vrcholové pevnosti. To demonstruje kvality použitého materiálového modelu. Jeho aplikací při analýze složitých podzemních staveb tak lze dosáhnout mnohem přesnějších výsledků ve srovnání s běžně používanými jednoduššími materiálovými modely.

ZÁVĚR

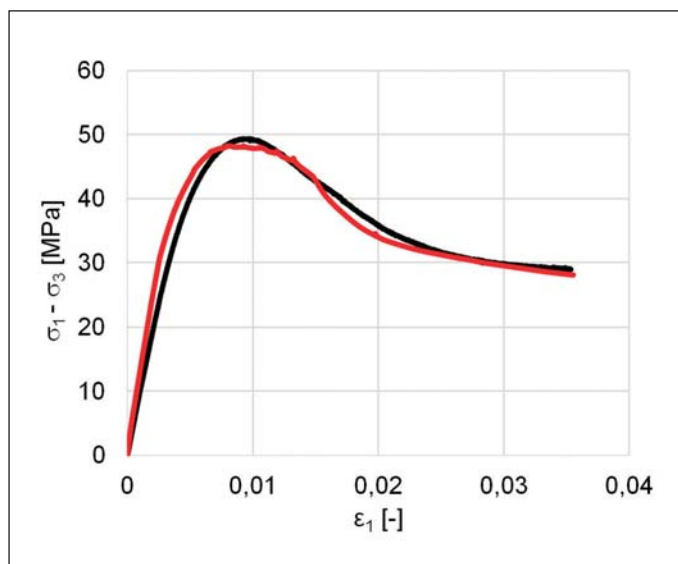
Po delší době, kdy bylo testování hornin na Ústavu geotechniky FAST VUT v Brně upozaděno, se dnes situace výrazně mění. Laboratoře ústavu disponují moderními zařízeními splňujícími aktuální požadavky pro zjišťování mechanických vlastností hornin. Vybudování prakticky celého odvětví testování hornin v geotechnické laboratoři je sice náročným úkolem, ale postupně se daří zavádět metody mezinárodně uznávaných standardů a produkovat výsledky, které obstojí i ve srovnání s jinými zavedenými laboratořemi nejenom v České republice.

Autoři věří, že tento článek poskytující náhled na práci v laboratoři mechaniky hornin je zajímavý. Zároveň si uvědomují, že na omezeném prostoru bylo možné uvést pouze velmi stručný přehled jinak rozsáhlého tématu.

*Ing. MARTIN ZÁVACKÝ, zavacky.m@fce.vutbr.cz,
Ing. et Ing. JAN ŠTEFAŇÁK, Ph.D.,
stefanak.j@fce.vutbr.cz, Ústav geotechniky,
Fakulta stavební, VUT v Brně*

*Recenzovali Reviewed: doc. Ing. Richard Šňupárek, CSc.,
doc. Ing. Alexandr Rozsypal, CSc.*

Poděkování: Příspěvek 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 specifického výzkumu č. FAST-S-18-5356 – „Stanovení vstupních parametrů materiálových modelů pro potřeby podzemního stavitelství s možností využití optimalizačních metod“ podporovaného Fakultou stavební Vysokého učení technického v Brně.



Obr. 8 Pracovní diagram stříkaného betonu: vodorovná osa – osové přetvoření, svislá osa – deviator napětí, srovnání měření laboratorního testu (černá) a MKP simulace (červená)

Fig. 8 Working diagram for sprayed concrete: horizontal axis – axial deformation, vertical axis – stress deviator, comparison of measurements by laboratory test (black) and the FEM simulation (red)

The authors believe that this paper providing a view into the work at the rock mechanics laboratory is interesting. At the same time, they realise that the limited space allowed them to present only a brief overview of the otherwise very extensive theme.

*Ing. MARTIN ZÁVACKÝ, zavacky.m@fce.vutbr.cz,
Ing. et Ing. JAN ŠTEFAŇÁK, Ph.D.,
stefanak.j@fce.vutbr.cz, Ústav geotechniky,
Fakulta stavební, VUT v Brně*

Acknowledgements: The paper was created within the framework of the solution to project No. LO1408 “AdMaS UP – Advanced building materials and technologies” supported by the Ministry of Education, Youth and Sports within the framework of the special-purpose support of the programme “The National Programme of Sustainability I” and the specific research project No. FAST-S-18-5356 – “Determination of input parameters of material models for the needs of underground construction industry with the possibility of using optimisation methods” supported by the Faculty of Civil Engineering of the Brno University of Technology.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] CONTROLS. Stress path triaxial and uniaxial automatic test system [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z internetu: <http://www.controls-group.com/eng/rock-mechanics-testing-equipment/stress-path-triaxial-and-uniaxial-automatic-test-system.php>
- [2] CHALMOVSKÝ, J., ZÁVACKÝ, M., MIČA, L. Calibration of an advanced material model for a shotcrete lining. In *Building up Efficient and Sustainable Transport Infrastructure 2017 (BESTInfra2017) 21–22 September 2017, Prague, Czech Republic. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Praha: 2017, s. 612–617. ISSN: 1757-899X
- [3] HOEK, E., CARRANZA-TORRES, C.T., CORKUM, B. Hoek-Brown failure criterion – 2002 Edition. In: *NARMS-TAC Conference*. Toronto, 2002, s. 267–273
- [4] ZÁVACKÝ, M., CHALMOVSKÝ, J., MIČA, L., BÍLEK, P. Stanovení hodnot vstupních parametrů pokročilého materiálového modelu pro stříkaný beton. In: *45. konference ZS Brno 2017*. Brno: Česká geotechnická společnost ČSSI, 2017, s. 201–208. ISBN: 978-80-87920-05-3

PROJEKT „ZPŘÍSTUPNĚNÍ HISTORICKÉHO PODZEMÍ PROSEKA“ “MAKING PROSEK HISTORIC UNDERGROUND ACCESSIBLE” PROJECT

JAN KAMENICKÝ

ABSTRAKT

Projekt „Zpřístupnění historického podzemí Proseka“ zahrnuje soubor podzemních pískoven v prostoru bývalé Hamplovy pískovny (trvale opuštěné důlní dílo nacházející se částečně v prostoru přírodní památky Prosecké skály mezi ulicemi Na Vyhlídce a Na Rozhraní v Praze 9) a navazujících podzemních pískoven v okolí. Projekt řeší takové stavební úpravy v podzemním díle, které svojí povahou umožní zpřístupnění objektu široké veřejnosti a vybudování podzemní tematické expozice „Město pod městem“, zabývající se historií podzemní těžby písku v Praze 9 a současně i zprostředkuje široký náhled do světa historického podzemí v Praze.

ABSTRACT

The project named “Making the Prosek historic underground accessible” covers a set of underground sand mines in the space of the former Hampl's sand mine (a permanently abandoned underground working partly located in the area of the Prosek Rocks national monument located between Na Vyhlídce and Na Rozhraní streets in Prague 9) and the linking underground sand mines in the surroundings. The project solves structural measures in the underground which, owing to its nature, will allow for making the structure accessible for the wide public and building a thematic underground exposition “City under the City” dealing with the history of underground excavation of sand in Prague 9 and, at the same time, will mediate a wide look into the world of the historic underground in Prague.

ÚVOD

Praha je velkolepé město světového významu. Její historie nabízí mnoho někdy až těžko uvěřitelných příběhů. V několika z pražských pověstí se pojednává o jakémsi podzemním bludišti chodeb v prostorách starého Proseka. Mimo jiné se zde popisují fantastické příběhy o podzemní chodbě vedoucí až do Staré Boleslavi, která měla takové rozměry, že jí mohl projet kočár tažený čtyřspřežím. Unikátní byla i tím, že ji údajně použil sám Napoleon Bonaparte k nepozorované návštěvě Prahy. Jak říká staré pořekadlo „Na každém šprochu pravdy trochu“. I zde mají tyto pověsti reálný základ a lidová fantazie si je posléze upravila k obrazu svému. Jaká je tedy pravda o tajemném proseckém podzemí?

HISTORIE TĚŽBY PÍSKU V OBLASTI PROSEKA

Výchozy bílých peruckých pískovců na okraji prosecké plošiny byly odedávna zdrojem písku. Jednalo se o těžbu nerudných surovin hlavně pro stavební účely. Existovalo zde několik povrchových pískoven, kde byl dobýván tento bílý, bílo-šedý, někdy až nazrhlý pískovec. Záhy byl drcen a použit např. do štuků a omítek, pro vysypávání cihlářských forem, v domácnostech na mytí nádobí popřípadě na posyp podlah. Jelikož v dobách aktivní těžby byly povětrnostní podmínky mírně řečeno drsné, povrchová těžba písku byla záležitostí ročních období jaro – podzim. Ve dvacetistupňových mrazech se prostě venku pracovat nedalo, a tak začala vznikat ojedinělá a co do rozsahu omezená podzemní díla zvaná „podzemní pískovny“. Výhoda byla nesporná – v podzemí je stálá teplota cca 9 °C, a tudíž ideální podmínky pro práci. Prostorový rozsah těchto podzemních děl byl regulován jednak mocností dobývaného pískovce a jednak majetkoprávními vztahy mezi vlastníky jednotlivých pozemků, a to i přesto, že v té době nebyl písek vyhrazeným nerostem a jeho těžba probíhala volně. Pod cizími pozemky se prostě bez souhlasu majitele kopat nesmělo. K definitivní regulaci těžby došlo v roce 1908 vyhláškou ministerstva obchodu, která mimo jiné předepisovala způsob těžby zejména s ohledem na bezpečnost práce. Na Proseku vzniklo v průběhu 19. století několik samostatných podzemních pískoven rozmanitého rozsahu a významu.

INTRODUCTION

Prague is a magnificent city of global importance. Its history offers many stories, sometimes even hard to believe ones. Several of Prague legends mention some underground maze of galleries in the area of the old Prosek. Among others, there are fantastic stories there about an underground gallery leading up to Stará Boleslav, which had such dimensions that even a carriage drawn by four horses could pass through. It was unique even by the reputed fact that Napoleon used it for an unnoticeable visit to Prague. As an old saying goes, “no smoke without fire”. Even here those sayings have a real basis and folk fantasy subsequently modified them to its image. So what is the truth about the mysterious Prosek underground?

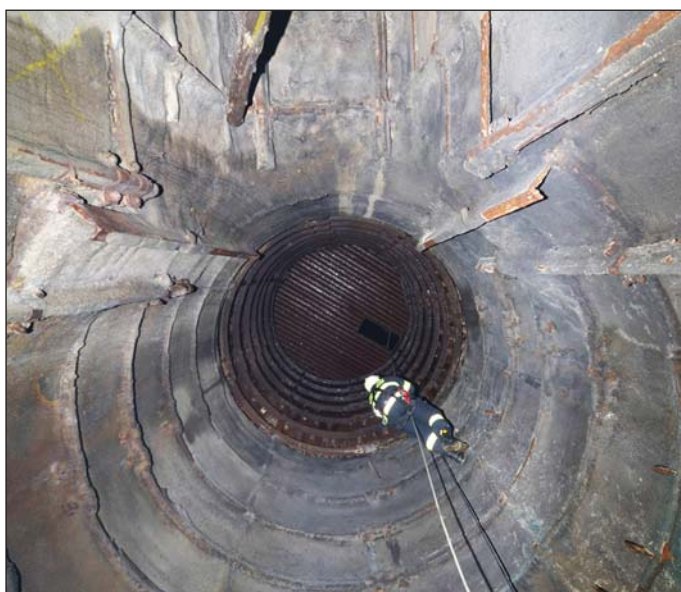
HISTORY OF SAND MINING IN THE AREA OF PROSEK

Outcrops of white Peruc sandstone at the edge of the Prosek plateau have long been sources of sand. Mining activities were focused on non-ore raw materials, mainly for building purposes. There were several open cast sand pits, where the white, white-grey, sometimes even gingerish sandstone was extracted. Subsequently it was crushed and used, for example, for parge and plasters, for dusting brick moulds, or washing dishes and sprinkling floors in households. Because of the fact that weather conditions in times of active mining were, put mildly, harsh, open cast sand mining was a matter of seasons of the year, spring – autumn. It was simply impossible to work outdoors in freezing 20°C. For that reason isolated, in terms of extent limited, underground workings called the “underground sand mines” started to originate. The advantage was undisputed – the temperature underground is stable, about 9°C, which is ideal for working. The spatial extent of the underground workings was regulated not only by the thickness of the sandstone layer being mined, but also the property right relationships between the owners of individual land lots, even despite the fact that at that time sand was not a classified mineral and was excavated freely. It was simply impossible to dig under somebody else's land plots without owner's consent. Definitive regulation of mining was established

Nejvýznačnějším podzemním dílem je zcela jistě bývalá „Hamplova pískovna“ dnes lidově zvaná „Močálka“. Jedná se o nejrozsáhlejší souvislou podzemní pískovnu na území Prahy, jejíž historická hodnota je nevyčísitelná. Nalézá se v prostoru přírodní památky Prosecké skály a v blízkosti přilehlé oblasti mezi ulicemi Nad Kunderatkou, Na Rozhraní a Na Vyhlídce. Labyrint podzemních chodeb s celkovou délkou 700–800 m vznikl během zimní těžby pískovce v podzemí díky použité dobývací metodě tzv. „chodbicování“. Princip této dobývací metody byl v tom, že kopáč rozšiřoval pukliny mezi skalními bloky, kde byl pískovec nejměkčí a dobře se rozpojoval. Natěžený pískovec byl následně vyvážen na den v dřevěném kolečku nebo ručně vynášen v putýnkách. Zde jej nechali rozpadnout na písek pomocí povětrnostních podmínek, zejména deště a mrazu, popř. jej přímo nadrtili. Následně byl distribuován k cílovým zákazníkům.

PODDOLOVANÉ ÚZEMÍ A VLIV NA OBJEKTY V NADLOŽÍ

Jelikož chodby podzemních pískoven nemají žádné zajištění, představují pro výstavbu města na povrchu velmi závažný problém. Zejména ve druhé polovině 20. století, kdy probíhala výstavba sídlišť na severu města, docházelo k mimořádným událostem v důsledku poddolování od podzemní těžby pískovce. Proto byl počátkem roku 1965 pod vedením Pražského projektového ústavu zahájen systematický průzkum těchto podzemních děl za účelem získání celkového přehledu o poddolovaném území na okraji prosecké plošiny. Dále bylo v této oblasti postupně vybudováno několik šachet a stovky metrů průzkumných štol (na situaci vyznačených modrou barvou), jejichž půdorysné situování připomíná písmeno „T“, tzv. „Těčko“. Podzemní díla byla ražena za účelem ověření celkového rozsahu chodeb v rámci geologického průzkumu vedeného podnikem Geindustria Praha, který probíhal až do roku 1968. Hornickou činnost zde prováděl zejména podnik Železnorudné doly a Hrudkovny n. p. Ejpvovice. V roce 2001 byla mezi podzemními díly „Močálka“ a „Amerika I.“ vyhloubena 16 m hluboká průzkumná šachta (obr. 1) zajištěná důlní poddajnou výztuží KC-O-06 se stříkaným betonem a z ní vyražena průzkumná štola. Štola dnes tvoří pohodlné propojení mezi oběma podzemními pískovnami. Také v případě „Močálky“ došlo v důsledku podzemní těžby mimo jiné k destabilizaci nadloží pod přilehlými obytnými domy nebo k porušení přilehlého kanalizačního řadu a následnému zatopení části podzemních chodeb.



Obr. 1 Přístupová šachta z roku 2001
Fig. 1 Access shaft from 2001

in 1908 by a directive of the Ministry of Commerce, which, among others, prescribed methods of mining, first of all with respect to safety of work. Several independent underground sand mines of a diverse extent and importance originated in Prosek during the 19th century.

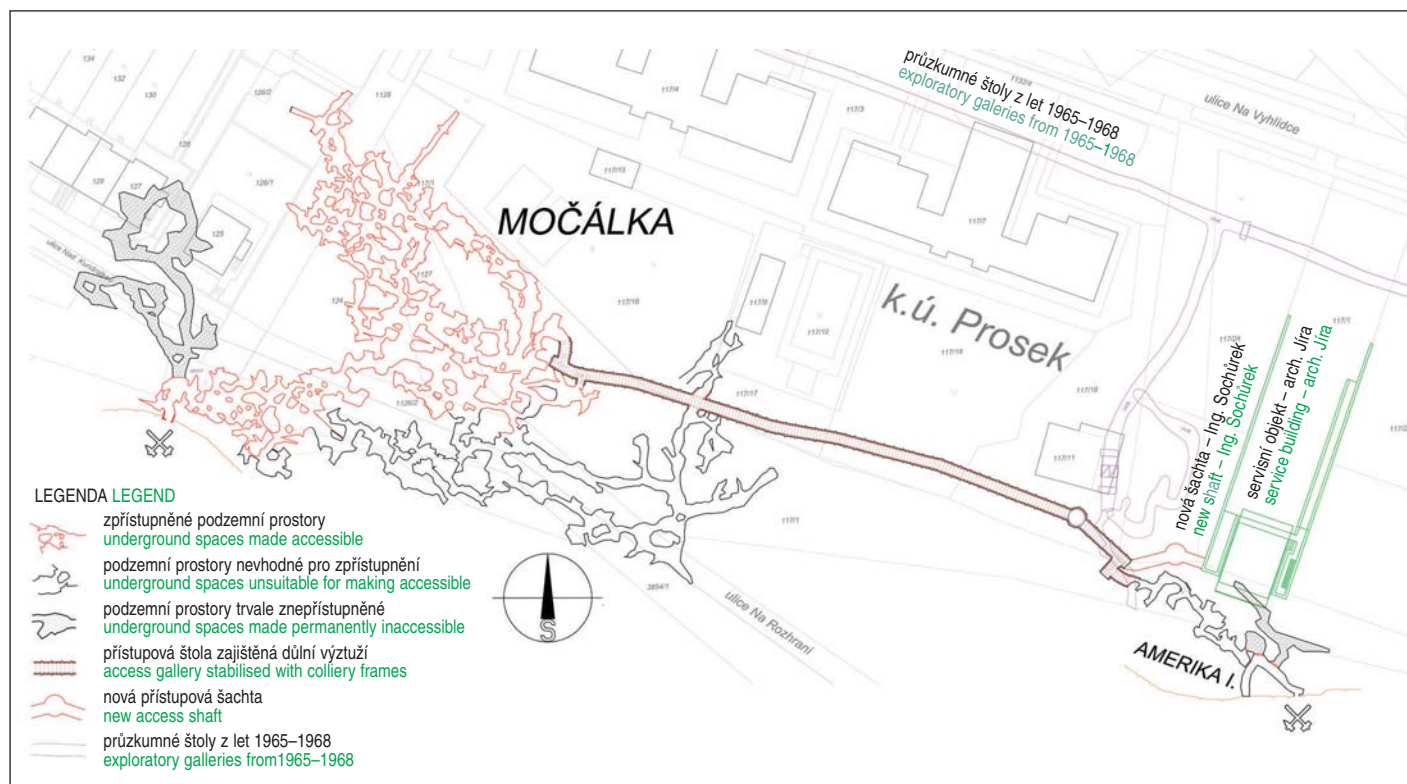
The former Hampl's sand mine, today commonly called „Močálka“, is certainly the most important underground working. It is a most extensive continuous underground sand mine in Prague. Its historic value is non-quantifiable. It is located in the space of the Prosek Rock natural monument and in the closely adjacent area between the streets of Nad Kunderatkou, Na Rozhraní and Na Vyhlídce. The labyrinth of underground galleries at the total length of 700–800m originated during winter excavation of sandstone in the underground. It was possible owing to the mining method used, the so-called „pillar mining“. The principle of this mining method lied in expanding cracks between rock blocks where sandstone was softest and easy to disintegrate by diggers. The disintegrated sandstone was subsequently hauled up in wooden wheelbarrows or carried up in tubs by hand. On the surface they let it disintegrate to sand by the action of weather conditions, first of all rain and frost, or directly crushed it. Subsequently the sand was distributed to target customers.

UNDERMINED AREA AND INFLUENCE ON STRUCTURES IN THE OVERBURDEN

Since the galleries of the underground sand mines are not stabilised and are not provided with any excavation support, they pose a very serious problem for the development of the city on the surface. Extraordinary events due to undermining caused by the underground excavation of sandstone took place especially in the second half of the 20th century, when development of residential areas in the north of the city was underway. For that reason systematic survey of the underground workings was started under the leadership of the Prague Design Institute at the beginning of 1965. Its objective was to obtain general overview of the undermined area at the edge of the Prosek plateau. Further on, several shafts and hundreds of meters of exploratory galleries were gradually built (marked blue in the layout). Their ground plan resembles letter „T“. The underground workings were carried out with the aim of verifying the overall extent of the galleries within the framework of the geological survey led by Geindustria Praha, which continued until 1968. Mining activities were conducted in this area mainly by the company of „Železnorudné Doly a Hrudkovny n. p. Ejpvovice“. In 2001, a 16m deep exploratory shaft was sunk between the underground workings of „Močálka“ and „Amerika I“ (see Fig. 1). The excavation was supported with colliery arches KC-O-06 with shotcrete. An exploratory gallery was driven from the shaft. The gallery today forms a comfortable link between the two underground sand mines. Also in the case of „Močálka“, the underground excavation caused, among others, destabilisation of the overburden under adjacent residential buildings or disturbance of an adjacent sewer followed by inundation of a part of the underground galleries.

PROBLEMS OF PROJECT FOR MAKING THE UNDERGROUND ACCESSIBLE

Owing to its geological basement, Prague, in contrast with other Czech towns (e.g. Jihlava, Znojmo, Tábor, Plzeň, Brno...), has no similar system of urban historic underground. Great interest in tours of such spaces from the wider public has been proved on the basis of long-term experience. Tourists in Prague depend



Obr. 2 Koordinační situace

Fig. 2 Coordination layout plan

PROBLEMATIKA NÁVRHU ZPŘÍSTUPNĚNÍ PODZEMÍ

Praha, na rozdíl od jiných českých měst (např. Jihlava, Znojmo, Tábor, Plzeň, Brno...), nemá kvůli svému geologickému podloží žádný podobný systém městského historického podzemí. Z dlouhodobých zkušeností je prokázán velký zájem o prohlídky takových prostor z řad širší veřejnosti. V hlavním městě jsou turisté odkázáni na příležitostné prohlídky Rudolfovy štolý, popř. „Cizineckého vstupu do kanalizace“ na Staroměstském náměstí nebo turisticky zpřístupněné staré kanalizační čistírny v Bubeneči. Systém proseckých podzemních pískoven je velmi atraktivní staré důlní dílo, které, pokud by se podařilo citlivě zajistit a současně zpřístupnit veřejnosti, by eliminovalo nejenom nebezpečí možných propadů a poklesů terénu v budoucnu, ale Praha by současně získala unikátní turistickou atrakci, která by se jistě dostala na přední místa v návštěvnosti. Jelikož na toto téma proběhla velmi pozitivní jednání se zástupci Úřadu městské části Prahy 9, bylo rozhodnuto tento záměr uskutečnit.

Na základě všech těchto skutečností byl v letech 2013–2017 postupně zpracován „Projekt pro zpřístupnění historického podzemí Proseka“. Projektovým pracím předcházela podrobná speleologický průzkum, na jehož základě vznikla podrobná důlní mapa aktuálního stavu podzemí (obr. 2). Průzkum provedli členové sdružení SPELEO DOKUMENTACE 2010 pod vedením autora tohoto článku a probíhal současně s velmi přesným geodetickým zaměřením prostor od firmy GRID. Na základě vyhodnocení této podrobné mapy již bylo možné posoudit a navrhnout několik variant budoucího prohlídkového okruhu podzemními chodbami s ohledem na atraktivitu, hospodárnost a především bezpečnost budoucích návštěvníků podzemí.

Úřad Městské části Praha 9 nechal Ing. arch. Lubošem Jírou zpracovat v roce 2012 projekt „Servisního objektu“, který bude přímo navazovat na prosecké podzemí a bude sloužit jako informační středisko pro návštěvníky s výhledem na Prahu. Objekt by nakonec vybudován v letech 2015 na pozemku městské části Praha 9, sousedícím s ulicí Na Vyhliďce a umožnil tak do budoucna přímé napojení na městskou infrastrukturu a MHD (obr. 3).

on occasional tours of the Rudolf's gallery or the “Entry to sewerage for foreign visitors” in the Old Town Square, or the old sewage treatment plant made accessible for foreigners in Bubeneč. The system of Prosek underground sand mines is a very attractive old mining working. If the effort to stabilise it sensitively succeeds and the system is made accessible for the public, the danger of potential sinkholes and terrain subsidence in future would be eliminated and, at the same time, Prague would gain a unique tourist attraction, which would certainly get it to the leading position in attendance. The decision on the realisation of this intention was made with respect to the very positive negotiation on this theme with representatives of the Office of the City District of Prague 9.

Based on all above-mentioned facts, the “Design for making the historic Prosek underground accessible” was gradually carried out in 2013–2017. The work on the design was preceded by a detailed speleological survey. A detailed mine map of the current condition of the underground (see Fig. 2) was developed on the basis of the survey. The survey was carried out by members of the SPELEO DOKUMENTACE 2010 society under the leadership of the author of this paper, concurrently with a high-precision topographic survey carried out by the company of GRID. It was already possible on the basis of this detailed map to assess and propose several variants of the future tour circuit through underground galleries taking into consideration the attractiveness, economy and, first of all, safety of future visitors of the underground.

In 2012, the Office of the City District of Prague 9 had Arch. Jíra to carry out a design for the “Service building”, which would directly link the Prosek underground and would be used as an information centre for visitors, allowing a great view of Prague. The building was finally built in 2015 on the land plot owned by the municipal district of Prague 9 adjacent to Na Vyhliďce street, thus allowing for direct connection to the urban infrastructure and urban mass transit in the future (see Fig. 3).

Jak se postupem času projekt vyvíjel, vzniklo několik variant, které pružně reagovaly na aktuální problémy. Jeden z největších vyvstal ve chvíli, kdy došlo k prodeji pozemku s průzkumnou šachtou soukromé osobě. Jelikož se stávající průzkumná šachta nenalézá na pozemku městské části Praha 9, bylo nutné původní variantu projektu upravit. Úprava projektu spočívá v návrhu nové vstupní šachty na vhodném místě tak, aby umožňovala jednoduché propojení mezi servisním objektem a průběhem podzemních štol o 15,5 m níže (autor Ing. Jan Sochůrek). Bylo rozhodnuto stávající průzkumnou šachtu upravit pro průchod osob vestavením vnitřního trvalého ostění ze železobetonového prstence překrytého stropní deskou a zbytek šachty kompletně zrušit a zasypat až k povrchu. Dále bylo rozhodnuto, že do zpřístupňovaných prostor nebude zahrnuta pískovna „Amerika I“. Její chodby jsou velmi úzké a částečně zřícené, tudíž pro zpřístupnění veřejnosti naprosto nevhodné. Naopak budou použity jako záložní provozní prostory v rámci podzemní expozice. Jelikož část zřícených chodeb tvoří velmi nebezpečnou kavernu o objemu cca 13 m³ (obr. 4), jejíž poklesová zóna přímo ohrožuje servisní objekt, kaverna bude kompletně vyplněna popílkocementovou směsí.

Tím se jednak zabránil nebezpečí destrukce nadloží a jednak se definitivně uzavře původní, nelegálně využívaný přístup do podzemních chodeb z pískovny „Amerika I“. Zbytek štol, který nebude určen ke zpřístupnění veřejnosti, bude zajištěn stříkaným betonem a bude tvořit zimoviště pro chráněné druhy netopýrů vyskytující se v této oblasti. Původní vstup bude zajištěn uzamykatelnými ocelovými dveřmi s vletovými otvory. Přístup do těchto míst budou mít pouze pracovníci ochrany přírody, a to jen v letních měsících za účelem sčítání těchto chráněných létajících savců.

AKTUÁLNÍ STAV A PLÁNY DO BUDOUCA

Stávající průzkumná štola vybudovaná v roce 2001 je zajištěna dočasnou výztuží tvořenou ocelovou důlní poddajnou výztuží K21 LB-3 a ocelovými pažnicemi UNION (obr. 5). Její délka je cca 130 m a propojuje dvě samostatné podzemní pískovny „Močálka“ a „Amerika I“. Pro účely zpřístupnění bude využita jako hlavní vstupní koridor do podzemní pískovny. Jelikož je délka štoly poměrně dlouhá, při jejích úpravách je nutné brát zřetel na její poněkud fádlní průběh.

Aby si budoucí turisté odnesli z návštěvy podzemí jenom ty nejlepší vzpomínky, je nutné při návrhu definitivního ostění štoly postupovat velmi obezřetně. Důležitou roli zde hraje zejména výběr materiálů, které budou použity. Základem je vytvořit určitou rozmanitost v zajištění. Nejprve je nutné vytvořit kvalitní



Obr. 4 Kaverna s nestabilním výrubem
Fig. 4 Unstable cavern excavation

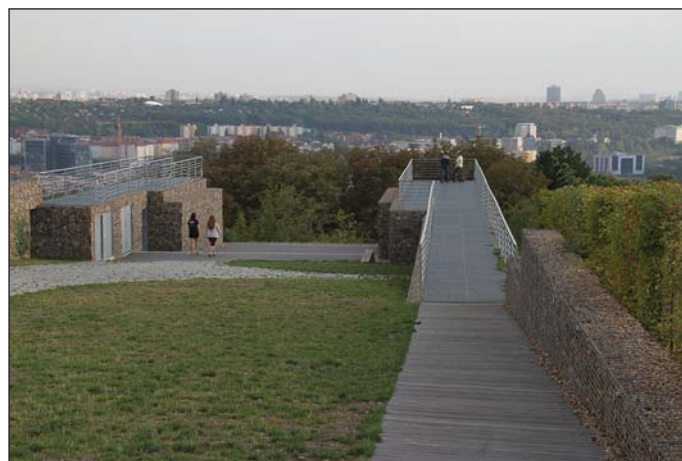


foto Zbyňka Šolcová photo Zbyňka Šolcová

Obr. 3 Stávající servisní objekt s výhledem na město
Fig. 3 Existing service building with a view of the city

As the design was developing with the time running, several variants originated flexibly responding to current problems. One of the biggest arose at the moment when the land plot with the exploratory shaft was sold to a private person. Because the existing exploratory shaft is not located on the land owned by the municipal district of Prague 9, it was necessary to modify the original design variant. The design modification lies in a design of a new entrance shaft on a suitable place so that it allowed for a simple link between the service building and the routes of the underground galleries located 15m lower (author Ing. Sochůrek). A decision was made that the existing exploratory shaft should be modified to allow for the passage of persons by installing an internal permanent lining provided by a reinforced concrete ring covered with a roof deck, with the rest of the shaft above completely removed and the remaining part of the shaft covered with earth up to the surface. In addition, a decision was made that the “Amerika I” sand mine would not be incorporated into the space being made accessible. Its corridors are very narrow and partially collapsed, therefore unsuitable for allowing the access of the public. On the contrary, they will be used as stand-by operational spaces within the framework of the underground exposition. Because of the fact that part of the collapsed galleries forms a very dangerous cavern with the volume of ca 13m³ (see Fig. 4), the settlement zone of which directly endangers the service building, the cavern will be completely backfilled with cinder concrete.

In this way, not only the dangerous destruction of the overburden will be prevented, but also the original illegally used entrance to the underground galleries from the “Amerika I” sand mine will be finally closed. The remaining galleries which will not be intended for access of the public will be stabilised with shotcrete and will form a location for wintering of protected kinds of bats living in the area. The original entrance will be secured by lockable steel door with openings for bats flying in. The access to these places will be allowed only to workers of nature protection, only during summer seasons, with the aim of counting the protected flying mammals.

CURRENT STATE AND PLANS FOR FUTURE

The existing exploratory gallery which was built in 2001 is secured with temporary support, steel colliery yielding frames K21 LB-3 and steel lagging UNION (see Fig. 5). The gallery is ca 130m long and links two independent sand mines, „Močálka“ and „Amerika I“. It will be used for the purpose of making the



Obr. 5 Stávající přístupová štola
Fig. 5 Existing access gallery

trvalou výztuž, která bude tvořena stříkaným betonem na ocelovou svařovanou síť v tl. 100 mm. Jelikož zřízením definitivního ostění dojde současně ke snížení podchodné výšky ve štole, bude nutné prohloubit počvu. Proto bude zapotřebí nejprve přerušit stávající rozpěrný práh tvořený z U č. 160 a počvu v tomto místě prohloubit na potřebnou hloubku. Do vzniklého prostoru bude osazen železobetonový staveništní prefabrikát, který tvoří pochůzí plochu ve štole. Takto zajištěná štola dosáhne vhodných parametrů pro zařazení do návštěvního okruhu v podzemí, negativně však zasáhne do původního charakteru historického podzemního díla. Proto budou do takto zajištěné štoly vestavěny nenosné kulisy, imitující různé historické způsoby zajišťování podzemních děl jako např. klasická veřejová výdřeva, kamenná klenba, kombinace tunelovacích rámců a dřevěných pažnic, cihelné klenební pásy a podobné materiály. Cílem je navodit pocit, že návštěvník se pohybuje v historickém důlním díle a zamaskovat pravý stav věcí – novodobou podzemní stolu zajištěnou moderními vyztužovacími metodami. Jednotlivé způsoby zajištění stability výrubu přístupové štoly ukazují obr. 6 až 8.

Podobný postup by měl být použit i v rámci prací na zpřístupňování vlastního historického podzemí pískovny „Močálka“. Jedním ze zásadních problémů při zpřístupňování těchto prostor bylo zajistit dostatečnou podchodnou výšku tak, aby návštěvníci pohodlně procházeli podzemím a užívali si prohlídku. Naštěstí řešení tohoto problému bylo celkem jednoduché a v zásadě i levné. V rámci podrobného speleologického průzkumu byla mimo jiné několika kopanými sondami ověřována míra zanesení jednotlivých chodeb nánosy bahna a písku. Ukázalo se, že v některých místech tyto nánosy dosahují značné mocnosti až 1 m a jejich odkopáním se výrazně zvýší podchodná výška v chodbách, a tím i bezpečný průchod pro návštěvníky. Stačí tedy relativně snadno vytěžit tyto nánosy a průchozí kapacita se na mnohých místech zvýší téměř dvojnásobně.

PŘÍSTUP K ZAJIŠTĚNÍ STABILITY DÍLA A BEZPEČNOST PROVOZOVÁNÍ

Na základě výsledků podrobného speleologického průzkumu byly jednotlivé nezajištěné podzemní chodby rozděleny na rizikové a bezpečné partie a na základě tohoto rozdělení byla stanovena nejvhodnější prohlídková trasa vedená pouze bezpečnými chodbami. Většina bezpečných podzemních chodeb „Močálky“ vhodných pro zpřístupnění (zejména v severní části) je vytesána v pevném a stabilním pískovcovém masivu a jakékoliv zásahy nejsou potřeba. Bohužel i zde se nacházejí ojedinělé pukliny, které je nutné zajistit a vyztuzit. Při sanaci puklin je však nutné

underground accessible as the main entrance corridor to the underground mine. Because the gallery length is relatively great, it is necessary to take its rather dull route into consideration.

It is necessary to proceed very cautiously when the final lining of the gallery is being designed so that future tourists store only the best memories from the visit to the underground. The selection of materials to be used plays an important role in the selection. The principle lies in creating certain diversity in the excavation support. First of all it is necessary to create good quality permanent support, which will be formed by a 100mm thick layer of shotcrete applied to welded mesh. Because of the fact that the headroom in the gallery will be reduced by the installation of the final lining, it will be necessary to increase the depth of the bottom. For that reason it will be necessary to cut the bracing beam formed by U-section No. 160 and deepen the bottom to the required depth. A reinforced concrete element cast on site will be inserted into the originated space to form the floor in the gallery. The gallery stabilised in this way will reach parameters suitable for the incorporation into the visiting circle in the underground, but will negatively affect the original character of the historic underground working. For that reason non-structural coulissses will be installed in the gallery supported in the above-mentioned way. They will imitate various historic systems of supporting underground excavations, for example classical door frame timbering, a masonry vault block, a combination of tunnel support frames and timber lagging, brick vault blocks and similar materials. The objective is to evoke a feeling that the visitor moves in a historic mining working and mask the real state of the matters – a modern underground gallery excavation supported using modern supporting methods. Individual methods of stabilisation of the access gallery excavation are presented in Figures 6 to 8.

A similar procedure should be used even within the framework of the work on making the historic underground of the “Močálka” sand mine accessible. One of fundamental problems in making those spaces accessible was providing the headroom sufficient for comfortable passage through the underground so that visitors enjoy the tour. Fortunately, the solution to this problem was quite simple and basically even cheap. The extent of the sedimentation of mud and sand in the galleries was verified among other ways by several trial holes within the framework of the detailed speleological survey. It turned out that the thickness of the layer of sediments is in some places significant, up to 1m, and by removing it the headroom in the galleries and the safety of the passage of visitors substantially increase. It means that relatively easy removing of the sediments would be in many places sufficient nearly for doubling of the passage capacity.

APPROACH TO THE STABILISATION OF THE EXCAVATION AND OPERATIONAL SAFETY

Individual unsupported underground galleries were divided into risk carrying parts and safe parts on the basis of results of the detailed speleological survey. The most suitable tour route, running only through safe galleries, was determined on the basis of this division. The majority of safe galleries of the “Močálka” sand mine suitable for being made accessible (mainly in the northern part) is carved in hard and massive sandstone and no interventions are necessary. Unfortunately, isolated fissures requiring securing action and stabilisation exist even in this location. Of course, when fissures are being rehabilitated, it is necessary sensitively to use materials and technologies which will not damage the historic character of the underground sand mine. The local sandstone obtained during clearing of the underground



Obr. 6 Varianta použití výdřevy
Fig. 6 Timbering application variant

citlivě použít takové materiály a technologie, které nepoškodí historický ráz podzemní pískovny. Jako nejlepší materiál se jeví místní pískovec získaný při čištění chodeb podzemního labyrintu nebo podobný pískovec z obdobných objektů, případně cihly. Ze všech těchto materiálů je možné vytvořit klenební obloukové pásy, které jsou nejvhodnější pro zajištění menších puklin. Obdobná technika byla na území Prahy použita při zajišťování podobného objektu v hloubětínských Hutích, kde bylo v minulosti využito podzemní pískovny „Bílý kůň“ jako skladu zeleniny (obr. 9).

I zde jsou pro zajištění nebezpečných puklin použity cihelné klenební pásy a vyzdívky, aniž by nějak negativně ovlivnily vzhled podzemní pískovny. Právě díky použití těchto stavebních materiálů při zajištění nebezpečných puklin byla tato metoda



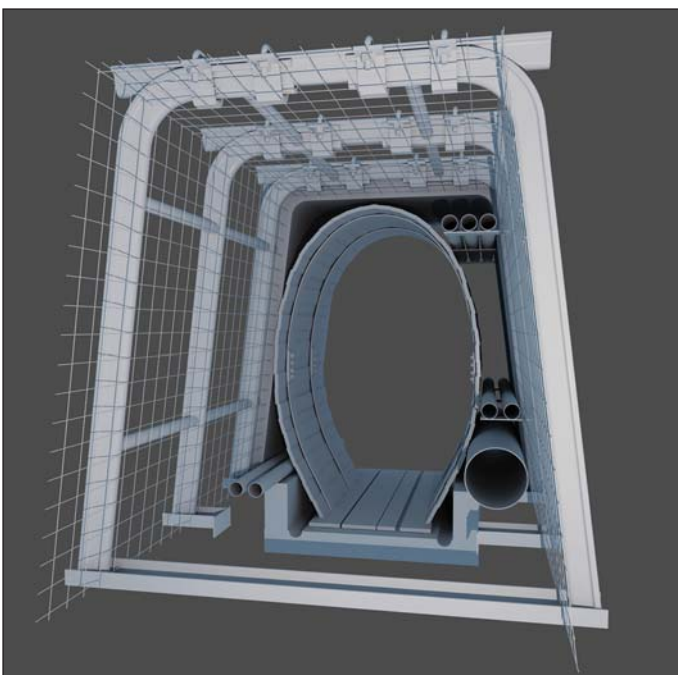
Obr. 7 Varianta použití kamenného zdiva
Fig. 7 Stone masonry application variant

maze galleries or similar sandstone from similar objects or bricks appear to be the most suitable materials. Each of those materials can be used for building roof vault blocks, which are most suitable for the stabilisation of smaller fissures. A similar technique was applied in Prague to stabilising a similar object in Hloubětín Hutě, where the “Bílý Kůň” underground sand mine was used in the past for storing vegetables (see Fig. 9).

Brick vault blocks and infill are used for securing dangerous fissures even there, without negatively affecting the appearance of the underground sand mine. It was just owing to the application of those materials to the stabilisation of dangerous fissures that this method was designed even in the case of making the Prosek historic underground accessible. It is important that the traditional character of the underground galleries of the sand mine is not spoiled and the semblance of a historic mining working is maintained. The diversity of the galleries of the underground maze is presented in Figures 10 to 12. The galleries were driven through in the stable part of the underground and will be made accessible for the public.

Conversely, the southern part of the “Močálky” underground system is absolutely unsuitable for being made accessible for the public due to its position at the edge of the Prosek plateau. The galleries are very unstable and are filled with sand, boulders and deposits of mud nearly up to the roof (see Fig. 13). Loosened rock blocks are found in many places in the vault and stabilisation of such a gallery would be not only financially demanding, but also very dangerous. The result in the case of galleries stabilised with shotcrete would totally disagree with the effort made and the investment costs. In essence, visitors would move as if being in a utility tunnel network, without direct contact with the original look and condition of the working. For that reason those galleries were assessed as dangerous and will not be incorporated into the design for making the galleries accessible.

In the northern part of the system, there are isolated caverns with larger dimensions, exhibiting even a chimney effect of loosening rock blocks, which are located directly on the tour route. It is necessary for the stabilisation of the very dangerous spaces to use colliery frames, shotcrete and possibly even hand packing



Obr. 8 Varianta použití tunelovacích rámců
Fig. 8 Excavation support frames application variant



Obr. 9 Obdobná podzemní pískovna „Bílý kůň“ v Hloubětíně
Fig. 9 Similar underground sand mine „Bílý kůň“ in Hloubětín

navržena i v případě zpřístupnění historického podzemí Proseka. Důležité je nepoškodit tradiční ráz podzemních chodeb pískovny a zachovat zdání historického důlního díla. Rozmanitost chodeb podzemního labyrintu ukazují obr. 10 až 12. Štoly jsou vyraženy ve stabilní části masivu a budou zpřístupněny veřejnosti.

Naopak jižní část podzemního systému „Močálky“ je kvůli své poloze na okraji prosecké plošiny naprosto nevhodná pro zpřístupnění veřejnosti. Chodby jsou velmi nestabilní, téměř v celé výšce zaneseny pískem, spadnými kameny a nánosy bahna (obr. 13). V klenbě jsou na mnoha místech uvolněné skalní bloky a zajistit takové chodby by bylo nejenom finančně nákladné, ale i velmi nebezpečné. Výsledek se zajištěním chodeb stříkaným betonem by naprosto neodpovídal vynaloženému úsilí a investičním nákladům. Návštěvníci by se v podstatě pohybovali jako v kolektorové síti bez přímého kontaktu s původním vzhledem a stavem díla. Proto byly tyto chodby vyhodnoceny jako nebezpečné a do projektu zpřístupnění nebudou zahrnuty.

V severní části systému se přímo na prohlídkové trase nacházejí ojedinělé kaverny větších rozměrů, které vykazují až komínový efekt uvolňování skalních bloků. Pro zajištění těchto velmi nebezpečných prostor je nutné použít důlní výztuž, stříkaný beton a případně i ruční zakládky místním materiálem – kameny. Kaverny nad průchozím profilem je nutné kompletně vyplnit materiálem a zajistit spolupůsobení s okolním skalním masivem při zachování průchozího koridoru skrz taková místa. Největší a současně i nejnebezpečnější z nich bude otevřena vyhloubením šachty z povrchu a bude do ní zabudován únikový východ z podzemí tvořený komínem z klasické kanalizační skruže se stupačkami. Zbýlý prostor kaverny bude postupně zaplněn hubeným betonem.

PODZEMNÍ EXPOZICE „MĚSTO POD MĚSTEM“

Pro zvýšení atraktivity prohlídky podzemí Proseka bude do chodeb instalována rozsáhlá expozice s názvem „Město pod městem“ pojednávající o podzemních objektech pod Prahou. Expozice bude tematicky rozdělena podle jednotlivých skupin (např. historická důlní díla, kanalizace, pražské metro, historické podzemní prostory, protiletectvé kryty apod.) na prosvětlených informačních panelech popř. na fyzických modelech rozmístěných vhodně v chodbách pískovny. Prohlídka podzemí tak bude mít i vzdělávací efekt.

ZAJIŠTĚNÍ REALIZACE

Neméně důležitým článkem při zpřístupňování podzemí je dodavatelská firma. Samozřejmě musí disponovat oprávněním

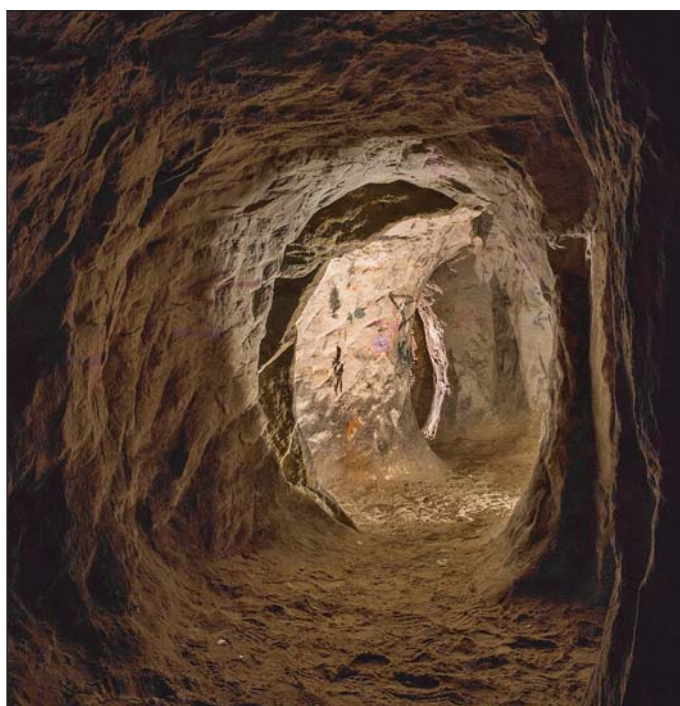


Obr. 10 Vhodné prostory v severní části systému
Fig. 10 Suitable spaces in the northern part of the system

with a local material – boulders. The caverns above the passage profile have to be perfectly filled with a material and a composite action with the surrounding rock massif has to be secured, and the passable corridor through such places has to be maintained. The largest and at the same time most dangerous of the caverns will be opened by sinking a shaft from the surface and an escape exit from the underground formed by a chimney from classical sewerage rings with step irons will be built in it. The remaining space of the cavern will be gradually filled with lean concrete.

UNDERGROUND EXPOSITION “CITY UNDER THE CITY”

An extensive exposition named “City under the City” dealing with underground objects under Prague will be installed in the galleries with the aim of increasing the attractiveness of the tour of the Prosek underground. The exposition will be thematically divided into individual groups (e.g. historic mining works, sewerage, Prague metro, historic underground spaces, air raid shelters, etc.) on lighted information panels or on physical models installed suitably in the sand mine galleries. So the underground tour will even have an educational effect.



Obr. 11 Vhodné prostory v severní části systému
Fig. 11 Suitable spaces in the northern part of the system



Obr. 12 Vhodné prostory v severní části systému

Fig. 12 Suitable spaces in the northern part of the system

k činnosti prováděné hornickým způsobem. To ale nestačí. Je také důležité, aby se dokázala vcítit do historického ducha podzemí a tak k němu také přistupovala během zpřístupňovacích prací v souladu s projektovou dokumentací a představami autorů tohoto výjimečného projektu. Je nutné během zpřístupňování zabránit devastaci historického rázu podzemí používáním nevhodných materiálů. Určitě budou výhodou pro takovou firmu zkušenosti z obdobných zakázek v minulosti (práce v historickém podzemí, práce v památkových objektech, zkušenosti s realizací cihelných kleneb, kamenného zdiva a dalších tradičních materiálů používaných v historii). Na tyto zkušenosti by se při jejím výběru mělo také přihlížet a zároveň tato firma musí bezpodmínečně a aktivně spolupracovat s autorským dozorem projektanta podzemní části, aby nedošlo k odchýlení se od projektu.

ZÁVĚR

Zpřístupnění historického podzemí Proseka veřejnosti je naplněním snu tří generací speleologů. Praha tím získá další unikátní turistickou atrakci, spojenou se záchranou historického podzemí. Současná situace nasvědčuje tomu, že se dílo podaří v krátké době dotáhnout do zdárného konce. V současné době probíhá stavební řízení, vydání platného stavebního povolení se předpokládá na přelomu roku 2018–2019 a zahájení zpřístupňovacích prací v roce 2019. Pokud vše půjde podle plánu, v roce 2021 by bylo možné přivítat první návštěvníky tohoto unikátního podzemního labyrintu.

JAN KAMENICKÝ, jankamenicky@centrum.cz

Recenzovali **Reviewed:** Ing. Libor Mařík,
Ing. Vladimír Prajzler



Obr. 13 Nevhodné prostory v jižní oblasti systému

Fig. 13 Unsuitable spaces in the southern part of the system

ENSURING REALISATION

The contractor company is a no less important element of the process of making the underground accessible. Of course, it must have at disposal the permission for activities carried out in mining-like way. But this is not all. It is in addition important that it is able to empathise with the historical spirit of the underground and approach it during the work on making it accessible in compliance with design documents and ideas of the authors of this exceptional design. It is necessary during the course of making the underground accessible to prevent the devastation of the historic character of the underground by using unsuitable materials. Experience from similar contracts in the past (working in historic underground, working in heritage-listed buildings, experience with realisation of brick vault blocks, stone masonry and other traditional materials used in the history) will certainly be an advantage for such a contractor. Such experience should be taken into account when the contractor is being selected. At the same time, the contractor has to unconditionally and actively collaborate with the supervision by the designer for the underground part so that a deviation from the design is prevented.

CONCLUSION

Making the historic underground of Prosek accessible is making a dream of three generations of speleologists come true. In this way Prague will obtain a unique tourist attraction connected with saving of historic underground. The current situation indicates that the working will be brought to the successful end in a short time. Currently, the building permission proceedings are in progress. The issuance of the valid construction permission is expected at the end of 2018 or beginning of 2019 and the beginning of the work making the underground accessible could start in 2019. If everything goes according to the plan, it would be possible to welcome first visitors to this unique underground maze in 2021.

JAN KAMENICKÝ, jankamenicky@centrum.cz

LITERATURA / REFERENCES

- [1] KAMENICKÝ, J. Projekt pro zpřístupnění historického podzemí Proseka – DSP, 2016–2017
- [2] KAMENICKÝ, PRIBIL, VANĚK Studie ke zpřístupnění proseckého podzemí, se zvláštním zřetelem na zachování historického rázu podzemí, 10/2005
- [3] KORBA, S. M., MAJER, M., CÍLEK, V. *Podzemní Praha*. Praha: Eminent, 2008, 248 s. ISBN 978-80-7281-497-8.
- [4] CIBULA, V., BOUDA, C. *Nové Pražské pověsti*. Praha: Panorama, 1981, 237 s.

FOTOREPORTÁŽ ZE ZKOUŠEK DETEKCE POŽÁRU A FUNKCE POŽÁRNÍHO VĚTRÁNÍ V TUNELOVÉM KOMPLEXU BLANKA

PICTURE REPORT FROM TESTING THE FIRE DETECTION AND FIRE VENTILATION FUNCTION IN THE BLANKA COMPLEX OF TUNNELS

FOTO JAKUB KARLÍČEK, SATRA, SRPEN 2018 PHOTO COURTESY OF JAKUB KARLÍČEK, SATRA, AUGUST 2018



Obr. 1 Odsávací štěrba systému požárního větrání v klenbě stropu raženého tunelu

Fig. 1 Smoke suction slot of the fire ventilation system in the vault of the mined tunnel



Obr. 3 Kouř nasávaný stropní štěrbinou

Fig. 3 Smoke sucked through a slot in the vault



Obr. 5 Nasávací otvor ve stropě hloubeného tunelu

Fig. 5 Extraction opening in the cut-and-cover tunnel roof



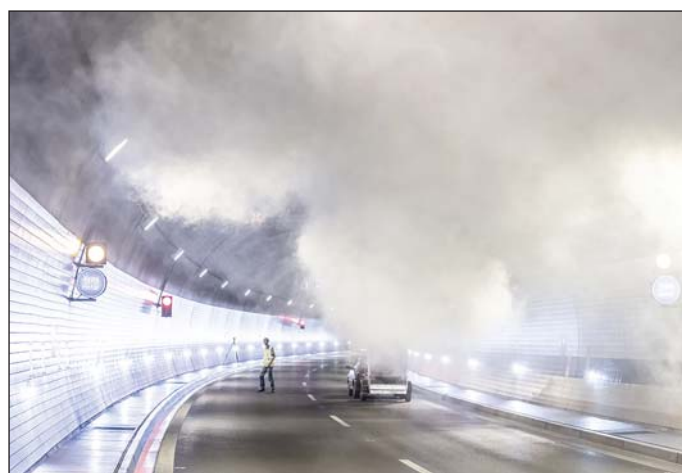
Obr. 2 Zdroj kouře a tepla pro vizualizaci šíření kouře v raženém tunelu při příčném odvodu štěrbinami

Fig. 2 Source of smoke and heat for visualisation of smoke spreading in the mined tunnel in the case of transverse extraction through slots



Obr. 4 Nuceně odsávaný kouř z hloubeného tunelu jedním velkokapacitním uzavíratelným otvorem

Fig. 4 Smoke forcedly extracted from a cut-and-cover tunnel through one large-capacity closable opening



Obr. 6 Zakouřený tunel ve chvíli zastavení pohybujícího se zdroje kouře

Fig. 6 Smoke logged tunnel at the moment of stopping the moving source of smoke

FOTOREPORTÁŽ ZO SLÁVNOSTI PRI PRÍLEŽITOSTI PRERÁŽKY DIAĽNIČNÉHO TUNELA VIŠŇOVÉ DŇA 13. 9. 2018 PICTURE REPORT FROM CEREMONIAL BREAKTHROUGH OF VIŠŇOVÉ MOTORWAY TUNNEL ON 13TH SEPTEMBER 2018

FOTO ZDRUŽENIE SALINI IMPREGILO – DÚHA PHOTO COURTESY OF CONSORTIUM SALINI IMPREGILO – DÚHA



FOTOREPORTÁŽ Z VÝSTAVBY TUNELA PREŠOV

PICTURE REPORT FROM THE CONSTRUCTION OF THE PREŠOV TUNNEL

FOTO ING. JIŘÍ KOTOUČ PHOTO COURTESY OF PETR MITRENGA



Obr. 1 Vrtanie mikropilótového dáždnika na východnom portáli
Fig. 1 Drilling for canopy tube pre-support at the eastern portal



Obr. 2 Pohľad na západný portál pripravený na razenie oboch tunelových rúr
Fig. 2 A view of the western portal prepared for excavation of both tunnel tubes



Obr. 3 Slávnostné uloženie sošky sv. Barbory, patrónky tunelárov, na východnom portáli tunela Prešov, 23. 8. 2018

Fig. 3 Ceremonial installation of a statuette of St. Barbara, the patron of tunnel miners, at the eastern portal of the Prešov tunnel on 23rd April 2018



Obr. 4 Razenie južnej tunelovej rúry z východného portálu, čelba tvorená pieskovicami s tenkými vrstvami ílovcov

Fig. 4 Driving the southern tunnel tube from the eastern portal, excavation face consisting of sandstone with thin layers of claystone



Obr. 5 Ražba severnej tunelovej rúry zo západného portálu, čelba tvorená ílovcovými a pieskovcovými vrstvami s pevnosťou R3, R4

Fig. 5 Driving the northern tunnel tube from the western portal, excavation face consisting of claystone and sandstone layers, compressive strength classes R3, R4

FOTOREPORTÁŽ Z EXKURZE ÖGG NA TUNEL SEMMERING, ÚSEK FRÖSCHNITZGRABEN PICTURE REPORT FROM ÖGG EXCURSION TO SEMMERING TUNNEL, FRÖSCHNITZGRABEN SECTION



Obr. 1 Celkový pohled na zařízení staveniště
Fig. 1 General view of the construction site



Obr. 2 Kompenzační elementy a kotvy IBO
Fig. 2 Compensation elements and IBO anchors



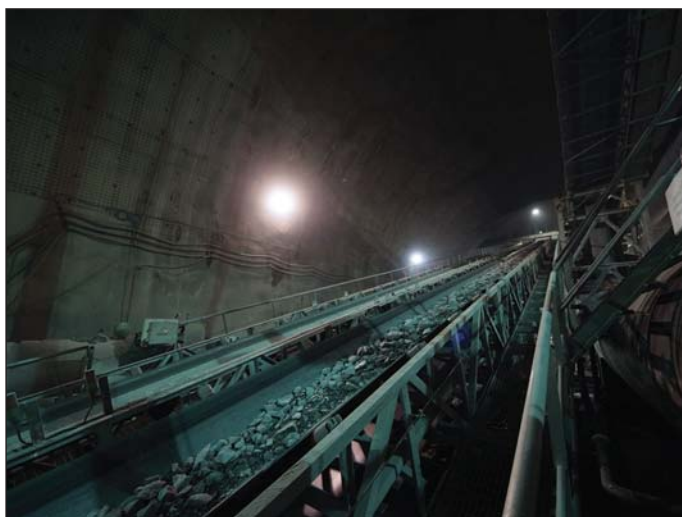
Obr. 3 Šachty hloubky 400 m pro vstup do podzemí
Fig. 3 400m deep shafts for entering the underground



Obr. 4 Dojezd výtahu do podzemní kaverny
Fig. 4 Lift pit in an underground cavern



Obr. 5 Mezideponie rubaniny
Fig. 5 Intermediate stockpile of muck



Obr. 6 Podzemní drtička rubaniny
Fig. 6 Underground crusher of muck



Obr. 7 Sklad tubingů v kaverně
Fig. 7 Segment stock in a cavern



Obr. 8 Montážní komora tunelovacího stroje
Fig. 8 Tunnel boring machine assembly chamber



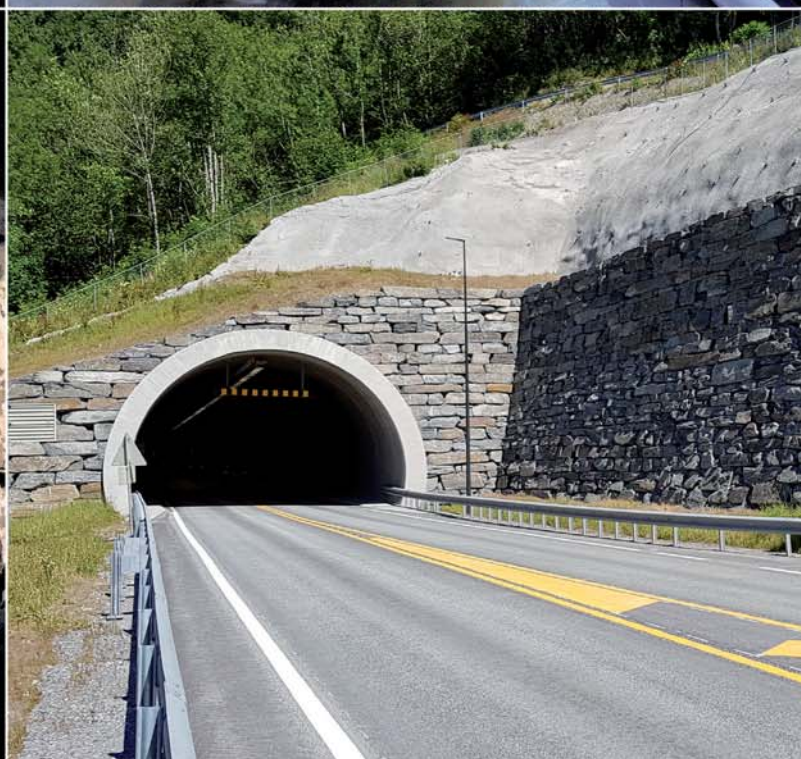
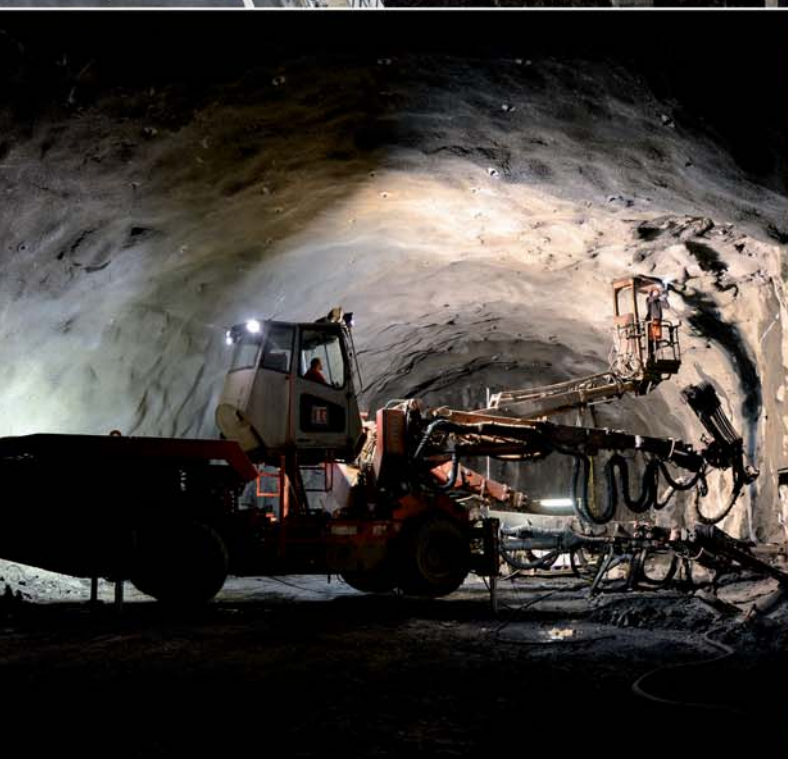
Obr. 9 Část L1 stroje ve staničním tunelu
Fig. 9 L1 part of the TBM in a station tunnel



Obr. 10 Řezná hlava tunelovacího stroje
Fig. 10 Cutterhead of the TBM



Obr. 11 Konvenčně ražený tratěvý tunel
Fig. 11 Conventionally driven running tunnel



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

Partner konference Podzemní stavby Praha 2019

METROSTAV

Výstavba železničního tunelu Milochov, Slovensko
Construction of Milochov railway tunnel, Slovakia



Výstavba dálničního tunelu Spitzenberg, Německo
Construction of Spitzenberg motorway tunnel, Germany



Výstavba městského tunelu Skärholmen, Švédsko
Construction of Skärholmen city tunnel, Sweden



Partner konference
Podzemní stavby Praha 2019
Underground Construction Prague 2019
Conference Partner

SUBTERRA 

www.subterra.cz

Nedržíme se při zemi
Never stuck on the ground



Nový Boomer S2

United. Inspired.

Zcela nová dvoulafetová vrtací souprava od společnosti Epiroc určená pro malé a střední tunelové profily. Inovativní design, vylepšená konstrukce, rychlejší robustnější, bezpečnější.

- nové vrtací kladivo **COP MD20** – větší výkon, robustní konstrukce a prodloužený servisní interval na 1000 h
- nový hydraulický výložník **BUT S** – robustní, bezkonkurenční rychlost a přesnost polohování
- **RCS 5** řídicí systém – v několika variantách automatizace vrtání dle potřeb uživatele

epiroc.com



Tunel Považský Chlmec
dálnice D3, úsek Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno)



HOCHTIEF CZ a. s.
Plzeňská 16/3217
150 00 Praha 5
tel.: +420 257 406 000

Partner konference
Podzemní stavby Praha 2019





Trasa A pražského metra,
stanice Nemocnice Motol -
ražba dvoukolejného tunelu



Váš partner v konzultační a projektové činnosti

Partner konference Podzemní stavby Praha 2019

metroprojekt@metroprojekt.cz
www.metroprojekt.cz
Tel.: +420 296 325 152

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



www.ohlzs.cz



Moderní tvář stavebnictví



OHL ŽS

Partner konference Podzemní stavby Praha 2019

90 let zkušeností ze staveb tunelů po celém světě
90 years of experience with tunnelling projects worldwide

Partner konference Podzemní stavby Praha 2019
Underground Construction Prague 2019 Conference Partner
SG Geotechnika a.s., www.geotechnika.cz



**S NÁMI BUDE VÁŠ
PROJEKT V BEZPEČÍ**

25 LET V OBORU:

- Geotechniky a inženýrské geologie
- Geotechnického monitoringu
- Hydrogeologie a vodního hospodářství
- Ochrany životního prostředí
- Projektování geotechnických staveb
- Projektování vodohospodářských a dopravních staveb

AZCONSULT[®] spol. s r.o.
AZ Consult, spol. s r.o.
Klířská 12
Ústí nad Labem 400 01
telefon: +420 475 240 888
e-mail: azconsult@azconsult.cz
www.azconsult.cz

Spoločnosť GEOFOS, s.r.o. je predná slovenská geologická a geotechnická firma s dlhoročnou tradíciou a profesionálnymi skúsenosťami v inžinierskej geológii, geotechnike, terénnych meraniach, ekológii a geodézii. Svojim klientom poskytuje komplexné služby v oblasti prieskumov, monitoringu, dozorov a konzultácií v rôznych fázach plánovania a výstavby ciest a diaľnic, vodohospodárskych stavieb, tunelov a mostov, železníc a životného prostredia.

www.geofos.sk

Projektová, inžinierska a konzultačná spoločnosť

REMIING
CONSULT A.S.
www.reming.sk



Pracovisko Bratislava: Trnavská cesta 27, 831 04 Bratislava 3 / reming@reming.sk / +421 2 55 566 166
Pracovisko Žilina: Na bráne 4, 010 01 Žilina / sekretariat.za@reming.sk / +421 41 70 10 710

ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB THE WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

MOZAIKA ZE SVĚTA

■ Příprava pro mechanizované tunelování sekce Mauls

Dva TBM pr. 10,65 m, délky okolo 200 m po zkouškách a převzetí ve výrobě a po následující demontáži jsou připravovány (částečně i po moři) k italskému konci bázevého tunelu Brenner. V připravených podzemních kavernách probíhá jejich montáž. Zahájení ražeb tratových tunelů směrem k italsko-rakouské hranici se plánuje v roce 2019.

Třetí stroj o pr. 6,8 m celkové délky skoro 300 m již razí od začátku května 2018 14 km dlouhý průzkumný, později servisní tunel směrem k italsko-rakouské hranici.

■ Riziková analýza pro „železnici v oblacích“ v Argentíně

Jediná železnice mezi Argentinou a Chile byla uvedena do provozu v roce 1949 po 27 letech výstavby. Její trasa vede z argentinského města Salta do Antofagasty na chilském pobřeží Tichého oceánu. Na trase dlouhé přes 500 km je 29 mostů, 21 tunelů, 13 viaduktů a dvě úvratě. Trať vede přes několik solných pouští, stoupá do nadmořské výšky přes 4400 m a její provoz je často přerušován při špatném počasí. V současnosti jenom na části trasy jezdí vlaky pro turisty.

Jediné dopravní spojení mezi oběma zeměmi jsou tak špatné silnice, které ale nezajišťují celoroční provoz.

Proto se přistoupilo k zpracování studie proveditelnosti a rizikové analýzy optimalizované železniční tratě mezi výše zmíněnými městy. Dokumenty byly představeny v lednu 2018 v Buenos Aires. Prozkoumávala se oblast o rozloze 10 000 km², která je charakteristická velkými výškovými rozdíly a drsným klimatem.

Nejprve se shromáždila data získaná ze satelitních snímků, dřívějších průzkumů a z existujících staveb; pak se tato data ověřovala průzkumy v terénu s výrazným použitím dronů. S jejich využitím a s dalšími moderními průzkumnými pomůckami trval průzkum trasy méně než měsíc, bez nich by si vyžádal nejméně šest měsíců a při velkém rozsahu pěšího průzkumu.

Na základě takto získaných dat se vyhodnotila nebezpečí vyplývající z přírodních podmínek, specifikovaly se obtíže související se zásobováním stavby, vytvořil se první časový plán stavby a vykalkulovala se roční dopravní kapacita tratě.

Dokumenty prokázaly velký potenciál železniční tratě a její vliv na rozvoj přiléhajících oblastí především západní části Argentiny.

■ Dva rekordy

TBM firmy Robbins v Číně

Na vodohospodářském projektu, který má přivést vodu do suchých oblastí severovýchodní čínské provincie Jilin, je nasazen stroj do skalních hornin od firmy Robbins o průměru 7,9 m. A právě zde vytvořil čínský rekord pro stroje pr. od 7 do 8 m – za měsíc vyrazil 1423,5 m. Světový rekord v této velikostní třídě TBM činí 1482 m/měs. a vytvořil jej před dvaceti lety také štít Robbins na vodohospodářském projektu u Chicaga v USA.

Geotechnické podmínky byly ovšem nesrovnatelné. V USA stroj razil v celkem homogenním dolomitickém vápenci pevnosti oscilující kolem 145 MPa při občasné vystrojení skalními kotvami. Naproti tomu v Číně se pevnost hornin pohybovala

od 35 do 206 MPa – razilo se v tufech, žule, pískovci a andezitu a v trase se vyskytovalo 24 poruchových zón. Navíc geotechnické podmínky vyžadovaly skoro průběžné vystrojování. To potvrzuje hodnotu tohoto rekordního postupu.

Pro ražbu ve výše uvedených geotechnických podmínkách a hlavně v poruchových zónách byl stroj vybaven čtyřmi vrtačkami, kruhovým erektorem a zařízením na stříkaný beton. Ve stropě štítu v nesoudržné hornině bylo možno instalovat hned za vrtnou hlavou ocelové prvky zabráňující uvolnění nestabilní horniny. Tento unikátní systém se nazývá „McNally slats“.

Pokud to bylo nutné, prováděla se také zpevňující injektáž a konsolidace horniny před řeznou hlavou. Stabilizaci výrubu zajišťovala instalace sítí a stříkaný beton.

I vlastní vodohospodářský projekt je mimořádný. Jeho celková délka je 736 km včetně přivaděče, jehož klíčovou částí je tunel délky 24,5 km ražený strojem Robbins.

■ Ražba TBM na úseku Ahrental – Pfons na Brennerském bázevém tunelu (BBT)

Jak jsme informovali v Tunelu č. 1/2016, TBM o pr. 7,93 m zahájilo 26. 9. 2015 ražbu 15 km dlouhého průzkumného (po zahájení provozu servisního) tunelu na výše zmíněném úseku BBT. Dvě třetiny, tedy 10 km trasy bylo vyraženo bez vážných mimořádných událostí k 30. březnu 2018, přičemž geotechnické podmínky v trase byly značně nepříznivé a v cestě bylo 8 poruchových zón. Navzdory tomu TBM vytvořilo nový světový rekord v denním postupu, když v květnu 2017 vyrazilo v křemitých fylitech 61,04 m za 24 hod. Tím byly překonány dřívější rekordní denní výkony TBM – 52 m/den na bázevém tunelu Lötschberg a pozdějších 56 m/den na Gotthardském bázevém tunelu.

■ Podchod řeky Isarco na italském konci BBT

Výstavba jižního konce BBT představuje složitý problém, protože zde trasa tunelů podchází nejen dálnici a železnici, ale také prudce proudící řeku Isarco. Jde o úsek trasy dlouhý 2,1 km, ve kterém musí být vyraženo celkem 6 km tunelů.

Začátek a konec úseku bude ražen v žule, prostřední část v aluviálních zeminách a v nesoudržných různorodých úlomcích skalních hornin. Průzkumem bylo ověřeno jednak místo kontaktu skalního masivu a nesoudržného materiálu, kterým je vyplněno dno údolí řeky Isarco, a vlastnosti výplně údolí v trase tunelů, na základě kterých byly zvoleny způsoby konsolidace nesoudržného materiálu před a při ražbě.

Bylo rozhodnuto, že trasa pod dnem řeky bude v délce asi 60 m zajištěna zmrazováním. Proto jsou na každém břehu řeky v její blízkosti hloubeny dvě šachty s plochou 800 m² a 1600 m². Hloubka šachet bude 25 m s úrovní dna 20 m pod hladinou v řece. Obvod šachet je zabezpečován tryskovou injektáží do hloubky 32 m, dno budou těsnit sloupy tryskové injektáže délky 8 m. Hloubení první šachty bylo zahájeno v lednu 2018 a šachta měla být vyhloubena koncem léta 2018.

Pro stabilizaci nesoudržných hornin v trase tunelů se počítá s využitím cementové i chemické injektáže a s tryskovou injektáží prováděnou z povrchu území i vodorovně z čelby tunelu na vzdálenost 15 až 18 m.

■ Budoucí mimořádné tunelové projekty v Norsku

Stavba prvního tunelu pro námořní lodě na světě o světélém profilu 1620 m² a délce 1,7 km by měla být zahájena v roce 2018. Tunel umožní lodím, aby nemusely plout kolem širokého konce poloostrova, kde je velmi bouřlivé moře, ve kterém již mnoho lodí ztroskotalo.

V roce 2018 by měl být dokončen silniční tunel Solbak délky 14,3 km, který bude nejdelším podmořským automobilovým tunelem na světě.

V Helgelandu je plánován podmořský silniční tunel s hloubkou až 396 m pod mořskou hladinou, což znamená, že bude nejhlubším podmořským silničním tunelem na světě.

Až bude v roce 2023 uveden do provozu tunel Rogfast, stane se svou délkou 27 km nejdelším podmořským silničním tunelem na světě a současně bude svou hloubkou 390 m jedním z nejhlubších.

Železniční tunel Folo bude po dokončení v roce 2021 nejdelším norským železničním tunelem, přičemž většina z jeho délky 20 km bude vyražena pomocí TBM.

■ Ukončení ražeb tunelu Bossler

Druhá trouba tunelu Bossler na nové rychlostní trati Stuttgart – Wendlingen – Ulm byla proražena 8. června 2018. Tunel dlouhý 8,8 km je pátým nejdelším železničním tunelem v Německu. V průběhu jeho výstavby se díky upřesnění geotechnických podmínek podařilo výrazně zmenšit úsek, který se původně měl razit konvenčně (viz Mozaika v č. 4/2017 časopisu Tunel).

Uvažovalo se, že tunelovací stroj vyrazí jen 2,8 km tunelu, ve skutečnosti na první troubě razil 7,8 km a na druhé dokonce skoro 8 km!

Na trase Wendlingen – Ulm je nyní vyraženo celkem 47 km tunelových trub, což je více než tři čtvrtiny délky

všech tunelových trub na této trase. Celá trasa Stuttgart – Ulm by měla jít do provozu v roce 2022.

■ Výroba reaktivnějšího cementu pro stříkaný beton

Firma HeidelbergCement AG si před několika roky uvědomila, že v jejím regionu bude probíhat výstavba velkého objemu podzemních staveb. Proto se rozhodla vyvinout a stavebním firmám nabídnout speciální cement pro stříkané betony. Tento ekonomičtější cement s rychlejším náběhem pevnosti společnost vyrábí v cementárně Schelklingen ve švábské pahorkatině v blízkosti velkých podzemních staveb: Stuttgart 21 a vysokorychlostní železnice Stuttgart – Ulm.

■ Železniční svršek bazového tunelu Ceneri dokončen

Slavnostní dokončení montáže kolejí na pevnou jízdní dráhu v 15,4 km dlouhém bazovém tunelu Ceneri proběhlo 30. května 2018. Od tohoto data jsou obě tunelové trouby průjezdné pro montážní kolejová vozidla a předpokládá se, že zbývající instalace zařízení nutných pro železniční provoz v tunelu bude dokončena do konce srpna 2019. Zkušební provoz by měl být po dílčích zkouškách zahájen v březnu 2020.

■ Brunelovo muzeum v Londýně se rozšíří

Londýnské Brunelovo muzeum je zaměřeno na použití prvního nemechanizovaného štítu při stavbě 400 m dlouhého tunelu pod řekou Temží, což se odehrálo před 190 lety. Muzeum nyní v aukci koupilo od soukromých sběratelů originální výkresy, které detailně ukazují práci razičů i zedníků a současně ilustrují, jak stavitel tunelu Marc Brunel postupně získané zkušenosti přenášel do technologických postupů ražby.

Aby nové získané dokumenty mohly být představeny veřejnosti, plánuje se podstatné rozšíření Brunelova muzea.

Ing. MILOSLAV NOVOTNÝ, mila_novotny@volny.cz

ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ / NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCES

MEZINÁRODNÍ KONFERENCE GEOTECHNIKA 2018 V BESKYDECH

INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOTECHNICAL ENGINEERING IN THE BESKIDS

The 16th international conference on Geotechnical Engineering took place from 18th to 19th October 2018 in Soláň hotel in the Beskids. This year's conference was held on the occasion of the eightieths anniversary of the birthday of Professor Josef Aldorf, a university teacher and an important expert in the field of geotechnical and civil engineering, who has participated in many important tunnel construction projects in the Czech Republic. This year's conference was attended by 130 representatives of companies and university and research workplaces from both the Czech Republic and Slovak Republic, as well as from abroad. The conference focus was wide, comprising traditional topics concerning slope instabilities and their stabilisation, foundations of buildings and tunnel structures and problems associated with the development of a deep radioactive waste repository, which is currently very topical in the Czech Republic. The section dedicated to teaching and scientific and research activities of university workplaces in the Czech Republic and the Slovak

Republic, which currently provide teaching and education of the young generation, was also an inseparable part of the conference.

Již 16. ročník mezinárodní konference Geotechnika se konal ve dnech 18.–19. 10. 2018 v konferenčním sále horského hotelu Soláň v Beskydech. Všechny předchozí 15 ročníků se konalo ve Vysokých Tatrách, letošní ročník byl přesunut organizátorem konference katedrou geotechniky a podzemního stavitelství Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava na česko-slovenské pomezí. Letošní ročník konference byl výjimečný i tím, že se konal u příležitosti osmdesátých narozenin pana profesora Josefa Aldorfa, vysokoškolského pedagoga, významného odborníka v oblasti geotechniky a podzemního stavitelství, který se podílel na mnoha významných tunelových stavbách v České republice, dlouholetého člena redakční rady časopisu Tunel a předsednictva České tunelářské asociace. Letošního ročníku se zúčastnilo 130 zástupců firem

a univerzitních a výzkumných pracovišť z České a Slovenské republiky i ze zahraničí. Záštitu nad tuto konferenci převzala jako již tradičně Česká tunelářská asociace, mediálními partnery pak byly kromě časopisu Tunel i časopisy Silnice a železnice a Konstrukce.

Stejně jako v případech předchozích ročníků bylo zaměření konference široké, zahrnovalo jak tradiční témata týkající se svahových nestabilit a jejich sanací, zakládání staveb a tunelových staveb, tak i problematiku spojenou s vývojem hlubinného úložiště radioaktivního odpadu, která je v České republice v současné době velmi aktuální. Neoddělitelnou tradiční součástí konference byla rovněž sekce věnovaná pedagogické a vědecko-výzkumné činnosti univerzitních pracovišť v České i Slovenské republice, která zajišťují výchovu a vzdělávání mladé geotechnické generace.

Problematikou rizikové analýzy v geotechnice se zabýval příspěvek přednesený doc. Rozsypalem, hodnocením rizik výstavby dálnice v sesuvném území na středním Slovensku pak příspěvek kolegů ze Slovenské technické univerzity v Bratislavě. Metodikou analýzy potenciálně nestabilních území v horninovém prostředí se složitou genezí, velkou heterogenitou a anizotropií se zabýval příspěvek kolektivu autorů katedry geotechniky a podzemního stavitelství Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava.

Kolektiv autorů z téhož pracoviště prezentoval výsledky experimentů týkajících se interakce základové desky s podloží a dále problematiku využití kónické penetrační zkoušky k alternativnímu vyhodnocení vlhkosti na mezi plasticity soudržných zemin. V příspěvku prof. Kalába z téže katedry byl proveden rozbor vlivu vibrací na stavební objekty a konstrukční doporučení vycházející z Eurokódu 8.

Výpočetní přístupy a využití výsledků geotechnického monitoringu při řešení problémů zakládání výškových budov na neogenním podloží prezentoval kolektiv autorů ze Stavební fakulty Slovenské technické univerzity v Bratislavě. Analýza příčin poruch na rodinném domě nestandardního půdorysu a mimořádně složitá sanace tohoto objektu byla obsahem dalšího příspěvku kolegů z téhož pracoviště. Zajímavým příspěvkem byl rovněž příspěvek zabývající se havárií opevnění zámku v Holíči v důsledku zmenšení zatížení nad základovou spárou ve vodním příkopu, který přednesl prof. Hulla. Problematikou podchyťování historických průmyslových objektů pilotovou stěnou při realizaci energokanálu v hloubce 5 m v těsné blízkosti zmíněných objektů se zabýval příspěvek přednesený prof. Turčekem.

Příspěvek kolektivu autorů z firmy Minova Bohemia s.r.o. prezentoval na konferenci problematiku zajištění výkopových jam startovací a cílové šachty protlaku pro převedení vodovodu štětovnicovými stěnami kotvenými nepředpínacími tyčovými kotvami MAI SDA R a táhly z celozávitových kotevních tyčí CKT. Článek autorů z Ústavu geotechniky VUT Brno pak byl zaměřen na analýzu mechanismu přenosu zatížení z kompozitního kotevního prvku do okolního skalního masivu s využitím numerického modelování a citlivostní analýzy provedené na základě metody plochy odezvy.

Zajištěním stavební jámy hloubky 30 m pro technologické centrum tunelu Bypass Luzern budované ve stísněných podmínkách s využitím kombinace technologií speciálního zakládání se zabýval příspěvek Ing. Laciny z firmy AMBERG Engineering Brno, a.s. V tomto příspěvku bylo, mimo jiné, představeno i využití vizualizačních 3D modelů, které po napojení na příslušné informační databáze budou tvořit úplný informační model BIM celé stavby.

Dva další příspěvky byly věnovány problematice skalních svahů z hlediska posuzování jejich stability s využitím anizotropního konstitutivního modelu Jointed-Rock v numerickém modelu (Ing. Ježek, doc. Pruška, ČVUT Praha) a z hlediska využití akcelerometrických senzorů pro měření stavů ochranných sítí a dynamických bariér (kolektiv autorů z Fakulty elektrotechniky a informatiky VŠB-TU Ostrava a firmy SG-Geoinženýring, s.r.o.).

Kolektiv autorů z katedry geotechniky a podzemního stavitelství VŠB-TUO prezentoval v oblasti podzemního stavitelství problematiku návrhu ocelobetonového ostění tunelu spolupracujícího s horninovým prostředím a rovněž příspěvek uvádějící první inspirativní zkušenosti s praktickým využitím optických vláken k monitoringu primárního ostění tunelu. Ve spolupráci s firmou HOCHTIEF CZ a.s. připravili kolegové z ČVUT příspěvek týkající se výzkumu mechanických vlastností betonu s přídavkem drcené pryže určeného k výstavbě liniových podzemních děl.

V závěrečné sekci konference pak byly prezentovány příspěvky zaměřené na vybrané aspekty přípravy výstavby hlubinného úložiště radioaktivního odpadu. Kolektiv katedry geotechniky a podzemního stavitelství VŠB-TUO připravil v této souvislosti příspěvek zabývající se možnostmi využití numerického modelování ke stanovení porušených zón v okolí podzemních děl ražených v pevných horninách, prof. Rapantová z téhož pracoviště pak referovala o srovnání úložných konceptů hlubinného úložiště radioaktivního odpadu z hlediska disipace tepla v horninovém prostředí. Profesor Blaheta z Ústavu geoniky AV ČR přednesl zajímavý příspěvek zaměřený na obtížnou problematiku numerického modelování termo-hydro-mechanických procesů v bentonitových těsnicích bariérách úložiště.

Zástupcem hornické problematiky na této konferenci byl příspěvek doc. Šňupárka zabývající se stabilitou chodeb a horninového masivu při dobývání uhlí metodou chodba-pilř ve velkých hloubkách. Příprava sanace bývalého povrchového dolu byla tématem příspěvku předneseného zástupcem firmy Inset s.r.o.

Zástupce firmy Ekotechnika spol. s r.o. prezentoval v rámci konference nabídku přístrojové techniky pro geotechnický monitoring a rotační sónické vrtání.

Doufáme, že byl letošní ročník konference po odborné stránce přínosný, že přinesl možnost setkání odborníků z různých oblastí geotechniky a podzemního stavitelství při příležitosti významného životního jubilea profesora Aldorfa a že byla rovněž započata nová tradice pořádání konference Geotechnika na novém místě, ve valašských horách.

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

67. GEOMECHANICKÉ KOLOKVIUM V SALZBURGU A 11. RAKOUSKÝ TUNELÁŘSKÝ DEN

67TH GEOMECHANICAL COLLOQUIUM IN SALZBURG AND AUSTRIAN TUNNEL DAY

The annual Austrian conference was again held for three days owing the connection of the two events. The 50th anniversary of the foundation of the Austrian Geomechanical Society (ÖGG) was in addition celebrated within the framework of the conference. Georg M. Vavrovsky, a former long-time chairman, summarised the history and stressed the importance of the society in the European and global context in his lecture.

V letošním roce došlo opět ke spojení obou akcí, takže se konference prodloužila ze dvou dní na tři. V rámci konference proběhla i oslava 50. výročí založení Rakouské geomechanické společnosti (ÖGG). Shrnutí historie a význam této společnosti v evropském i světovém kontextu uvedl ve svém projevu její dlouholetý bývalý předseda pan Georg M. Vavrovsky.

11. RAKOUSKÝ TUNELÁŘSKÝ DEN

Středa 10. října byla ve znamení Rakouského tunelářského dne a v režii rakouské organizace ITA-AITES. Její prezident Wolfgang Stipek informoval o aktivitách rakouské organizace ITA-AITES včetně nově vznikajících směrnic v oblasti podzemních staveb. Následovala přednáška Roberta Gallera, která se zabývala mezinárodní organizací ITA-AITES. Rovněž informoval, že je připraven návrh smluvních podmínek FIDIC, který se zabývá přímo konvenčně raženými tunely a v mnohém vychází z rakouské normy ÖNORM B2203-1, která definuje smluvní vztahy při ražbě tunelů pomocí NRTM a obecně cyklickým způsobem výstavby.

Dvě přednášky byly věnovány problematice výstavby tunelů projektu Stuttgart – Ulm, a to sice tunelům Alaufstiege a Alabstiege.

První z příspěvků s názvem „DB velkoprojekt Stuttgart – Ulm, novostavba traťového úseku Wendlingen – Ulm, tunel Alaufstiege – od cyklického ke kontinuálnímu tunelování“ podal ucelenou zprávu o přepracování 8,806 m dlouhého tunelu Boßler, který byl původně navržen jako ražený pomocí NRTM. V průběhu výstavby došlo ke změně způsobu ražby z cyklické na kontinuální pomocí tunelovacích strojů. Dvoutroubový tunel Boßler je s délkou 8,806 m a 8,822 m hlavním stavebním objektem na nově budovaném úseku vysokorychlostní tratě DB Wendlingen – Ulm, který je součástí velkoprojektu DB Stuttgart – Ulm. Soutěž na realizaci tunelu pomocí NRTM byla vypsána v roce 2012 a sdružení firem PORR & Hinteregger & Östu / Szczecin & Swietelsky přišlo v průběhu nabídky se zvláštním návrhem 5800 m tunelu vyrazit pomocí tunelovacího stroje. Tento rozsah byl pak v průběhu výstavby změněn a tunel byl pomocí tunelovacích strojů v období od dubna 2015 do června 2018 vyražen v celé délce 17 500 m.

Druhý příspěvek se zabýval problematikou geotechnických zvláštností a porovnáním prognózy a skutečnosti při výstavbě tunelu Alabstiege. Rubanina z tunelu měla být podle předpokladů zadání po předrcení použita do zemního tělesa pevné jízdní dráhy na širé trati. Při ražbě se ukázalo, že hornina je vhodná pouze do standardních zásypů a pro použití jako podklad pevné jízdní dráhy je vhodná pouze za použití speciálních dodatečných opatření. Kromě hlavního

tématu, kterým je průzkum krasových jevů geofyzikálními metodami z povrchu a vrtným průzkumem v průběhu ražby, se přednáška zabývala i ražbou tunelu ve složitých geotechnických podmínkách, ve kterých bylo nutné pro zajištění stability výrubu použít mikropilotové deštníky. Prvním úsekem byla ražba tunelu v oblasti zemní deponie, kterou tunel částečně protínal, druhým pak podchod tunelu údolím Lehrer s extrémně nízkým nadložím, ve kterém bylo nutné podejít silnici a velkou nádrž na zadržování dešťové vody. Další nepředvídanou okolností byl podchod tunelu zastavěným územím s historickými sklepy a velmi proměnlivou kvalitou horninového masivu. V této oblasti bylo nutné velmi pečlivě sledovat účinky ražby na nadloží tunelu a především přizpůsobit provádění trhačích prací odezvě budov na povrchu území. Všechny uvedené okolnosti se dobrou spoluprací všech účastníků výstavby podařilo zvládnout v souladu s časovým plánem a v předpokládaných nákladech.

Další příspěvek se týkal smluvních vztahů při výstavbě vodní elektrárny na řece Inn v hraniční oblasti Rakouska a Švýcarska, která je právě ve výstavbě. Stavba se nachází mezi obcemi Valsot (Švýcarsko) a Prutz (Rakousko) a její součástí je vodní nádrž o délce 2,6 km, s maximální hloubkou 15 m a objemem 500 000 m³ vody, která je nízkotlakovou štolou o průměru 5,8 m, s nadložím až 1200 m a délce 23,2 km vedena v množství 75 m³/s do provozní budovy vodní elektrárny (Prutz). Štola je před provozní budovou ukončena šikmou, opancéřovanou šachtou o průměru 3,8 m, ve které tlak vody prudce stoupá. Štola je ražena pomocí dvou tunelovacích strojů z přístupového bodu Maria Stein směrem k Prutz v délce 12,7 km a směrem k přehradní nádrži v délce 8,9 km. Stabilitu výrubu štoly zajišťují železobetonové tubingy. Stavbu s označením GKI (Gemeinschaftskraftwerk Inn) zkomplikovalo ukončení smlouvy s původním dodavatelem. Po předčasném ukončení smlouvy vstoupila v platnost „alianční smlouva“. Příspěvek popisoval další úspěšnou realizaci stavby a výlučně pozitivní zkušenosti s nově uzavřenou alianční smlouvou. Bližší informace ke stavbě je možné získat na adrese <https://www.gemeinschaftskraftwerk-inn.com>.

Další blok přednášek se týkal směrnic a norem týkajících se geotechniky a podzemních staveb, které jsou v Rakousku velmi propracované a řeší problematiku všech oblastí stavebnictví.

První příspěvek tohoto bloku se zabýval problematikou směrnic „RVS 09.01.51 Bezpečnost a ochrana zdraví na pracovištích podzemních staveb“, která vešla v platnost v červenci 2017 a „RVS 09.01.52 Požární ochrana a záchrana na pracovištích podzemních staveb“. Předmětem přednášky bylo seznámení s obsahem směrnic i návaznosti na další normy a předpisy, které s touto problematikou souvisí.

Druhá přednáška se týkala revize rakouské normy ÖNORM B2203-1, která definuje smluvní vztahy při cyklické ražbě konvenčními tunelovacími metodami a je inspirací pro smluvní vztahy nejen v Rakousku. Norma vznikla již v roce 1978 a revizemi prošla v letech 1983, 1994 a 2001. U nás v ČR se občas stále používá tunelářská klasifikace, která se v prvních zněních normy objevila, která však byla již

před 17 lety z normy odstraněna a byla nahrazena směrnici ÖGG pro geotechnické plánování, která mnohem lépe vystihuje potřeby návrhu a realizace podzemní stavby. Hlavním předmětem změny normy jsou koeficienty pro hodnocení jednotlivých prvků pro zajištění stability výrubu a pravidla pro hodnocení ztížených podmínek z hlediska přítoků vody v horninovém masivu tvořeném nesoudržnými zeminami a skalními horninami. Návrh nového znění normy by měl být hotov začátkem roku 2019.

Poslední přednáška tohoto bloku se týkala výpočtu nákladů velkých mezinárodních projektů podle směrnice ÖGG. Projekty dopravní infrastruktury se vyznačují dlouhými fázemi projektu, vysokým počtem účastníků projektu, těžko předvídatelnými vlivy a jejich jedinečností. Nové vydání směrnice ÖGG pro výpočet nákladů z roku 2016 staví na zkušenostech z předchozí verze a v praxi uplatňuje nové akcenty, např. pomocí rizikových informačních listů. Upozorňuje na to, že strukturované řízení nákladů a rizik již dnes není možné bez odpovídajícího programového vybavení. Integrální analýza nákladů a doby výstavby je dalším krokem ke zvýšení stability plánování nákladů a časových harmonogramů. Popisuje proces identifikace a hodnocení rizik. Směrnice je určena pro odvození nákladů velkých infrastrukturních staveb, jako jsou tunely, mosty, letiště, nádraží, přehrady apod. Byla vydána současně i v angličtině, což napomáhá jejímu využití v mezinárodních poradních mandátech. Z velkých mezinárodních projektů, při jejichž návrhu a realizaci bylo podle této směrnice postupováno, je možné jmenovat výstavbu nového mezinárodního letiště v Limě v Peru, výstavbu nového mostu přes Rýn v Duisburgu, projekt BART Silicon Valley Phase II Extension v USA nebo Canarsie Tunnel jako součást podzemní dráhy v New Yorku. Směrnice je volně ke stažení v němčině i angličtině na stránkách ÖGG (www.oegg.at).

V dalším bloku přednášek byla pozornost věnována automatickému vyhodnocování strukturní skladby horninového masivu a možnosti dlouhodobého sledování chování tunelového ostění po uvedení tunelu do provozu.

Příspěvek s názvem „Obrazově orientovaná identifikace odlučných ploch v digitálním mapování rozhraní“ pojednával o možnostech automatického vytváření strukturně analytických map na základě fotografií líce výrubu (čelby). V mechanice hornin je znalost struktury masivu nesmírně důležitá, protože ovlivňuje jak stabilitu, tak jeho pevnost. Proto je struktura mapována více či méně podrobně v závislosti na specifických podmínkách dané lokality. Za tímto účelem byly v posledních letech vyvinuty různé metody. Jednou z nich je digitální mapování rozhraní založené na jejich optických a prostorových charakteristikách, které bylo v minulosti vizuálně prováděno zkušenými geology. Současný trend však stále více poukazuje na převážně automatizovanou detekci ploch nespojitosti.

Druhý příspěvek se zabýval možnostmi vyhodnocení protažení konstrukce tunelových ostění prostřednictvím měřicích systémů založených na optických vláknech umístěných uvnitř konstrukce. Tuto metodu vyvíjí Institut pro inženýrskou geodézii a měřicí systémy při technické univerzitě v Grazu za podpory ÖBB Infrastruktur. Na rozdíl od např. tenzometrů poskytujících informaci pouze z jednoho místa konstrukce a vyžadujících pro odečet naměřených

hodnot pro každý tenzometr vlastní kabel, umožňuje nově vyvíjená technologie odečet tisíců hodnot protažení konstrukce podél optického vlákna s odečtem naměřených hodnot pouze jedním kabelem. Měřené místo lze lokalizovat s přesností 10 mm a na 100 m dlouhém optickém kabelu lze provádět až 10 000 měření s přesností 1/1000 mm/m. Kromě hodnot protažení lze identifikovat i vznik trhlin. Systém umožňuje individuální vedení kabelů podél výztuže monolitického ostění konvenčně ražených tunelů nebo v tubingách tunelů ražených pomocí tunelovacích strojů. Příspěvek uvedl i výsledky měření na konkrétních tunelových stavbách.

Závěrečný blok přednášek se týkal moderního tématu Tunelování 4.0. V zahajovací přednášce s názvem „Tunelování 4.0 – stavebně-provozní trendy budoucnosti“ se autoři z technické univerzity z Vídně zamýšleli nad pronikáním digitalizace stavebních procesů do jednotlivých fází tunelového projektu od plánování přes výstavbu až k jeho provozování. Digitální transformace je řízena čtyřmi hlavními hybnými pákami: „Digitální data, automatizace, síť a digitální přístup.“ Témata jako Průmysl 4.0, digitální dvojčata (Digital Twins), BIM nebo „Lean Management“ budou nevyhnutelně vést ke změnám ve stavebnictví. Komplexní konstrukční systémy budou popsány pomocí digitálních modelů, využití digitálních systémů řízení znalostí podpoří rozhodování účastníků projektu. On-line přístup k informacím smaže rozdíly mezi projektem a skutečným provedením, změní se i schéma přístupu jednotlivých účastníků výstavby k informacím. Autoři se zamýšlí nad slučitelností těchto algoritmů s principy NRTM a možnostmi jejich nasazení při cyklické i kontinuální ražbě tunelů. Další přednášky na toto téma ukazovaly možnosti stávající techniky při plnění úkolů Tunelování 4.0 a výhled v oblasti vývoje stavební mechanizace a jejího řízení do budoucna. Jednalo se o přednášky výrobců Epiroc, Liebherr a Herrenknecht. Těmito přednáškami byl Rakouský tunelářský den ukončen.

67. GEOMECHANICKÉ KOLOKVIVUM

Geomechanické kolokvium mělo letos pořadové číslo 67 a bylo spojeno s výročím 50. let Rakouské geotechnické společnosti ÖGG. Jeho program byl rozdělen do čtyř hlavních témat. Prvním tématem byla zvláštní opatření při řešení geotechnických problémů.

První přednáška se týkala problematiky výstavby dvou silničních tunelů délky 443 m a 2005 m v oblasti polárního kruhu a uváděla specifika výstavby tunelů v Norsku od identifikace příčného řezu silničního tunelu přes přístup ke klasifikaci horninového masivu, empirickému přístupu ke způsobu zajištění stability výrubu a práci ve velmi chladném podnebí, což komplikovalo některé stavební postupy až po finální provedení tunelu bez ostění. Pro zmírnění přítoků vody do tunelu je použita injektáž horninového masivu. Na výrub jsou následně kotvami jako izolace připevněny desky z polyuretanové pěny, které jsou z požárně-bezpečnostních důvodů překryty 80 mm vrstvou stříkaného drátkobetonu.

Druhý příspěvek se týkal výstavby železničního tunelu T26 na vysokorychlostní trati Ankara – Istanbul. Trať je navržena na rychlost 250 km/h a měla by zkrátit dobu jízdy ze sedmi hodin na tři. Výška nadloží se pohybuje od 30 m do 236 m a tunel prochází prostředím břidlic, které jsou

díky tektonickému porušení silně zvětralé a podrcené. Výstavba tunelu délky 4950 m začala již v roce 2009 a od severního portálu probíhala ražba pomocí NRTM s vertikálním členěním výrubu o ploše 136 m² na tři dílčí výrubu. Při zemních pracích na zářezích v předportálu došlo k mohutným sesuvům v délce 2200 m. Po prozkoumání polohy smykové plochy došlo k posunu trasy tunelu o 174 m severně, a tím k prodloužení tunelu na 6100 m. Po dalším zahájení konvenční ražby s primárním ostěním tloušťky 250 mm a IBO kotvami délky 6 m docházelo v kalotě velkým deformacím, které dosahovaly až 800 mm. Po vyhodnocení vzniklé situace se zhotovitel společně s investorem rozhodl v konvenční ražbě dále nepokračovat a pro ražbu použít tunelovací stroj o průměru 13,77 m. Ražba tunelovacím strojem začala v roce 2011 s tím, že původně vyražený úsek s primárním ostěním ze stříkaného betonu byl zesílen tubingy o tloušťce 400 mm. Ani ražba tunelovacím strojem se neobešla bez velkých komplikací včetně tří „vykomínování“ nadloží až do výšky 146 m a destrukce prefabrikovaného ostění s nutností jeho zesílení válcovanými profily a kotvením pomocí IBO kotev délky 12 m. V průběhu výstavby muselo dojít i k přestavbě tunelovacího stroje se zvýšením přítlakové síly ze 75 MN na 290 MN a krouticího momentu z 28 MNm na 40 MNm a řezná hlava byla přestavěna z použití ve skalní hornině na tlačivou zeminu.

Třetí příspěvek s názvem „Havárie vakuovací studny při výstavbě hluboké stavební jámy – zabránění velkým škodám“ pojednával o výstavbě podzemní části nádraží v Düsseldorfu, které bylo konstrukčně prováděno pomocí metody želva a podzemních stěn v prostředí kvarterních štěrků a níže uložených terciérních jemnozrnných písků. Jednalo se o relativně propustné prostředí s vysokým rizikem hydraulického prolomení dna. V průběhu výstavby se ukázalo, že hladina terciérní podzemní vody je ve východní části stavební jámy o 2,5 m výše, než se předpokládalo. Tato situace si vyžádala provedení 41 sacích studní. Krátce před dosažením dna stavební jámy se objevil větší objem písku a lokálně zvýšená hladina vody uvnitř jámy. To následně vedlo k vytvoření erozního kanálu pod patou podzemních stěn. Jako okamžité opatření bylo použito prodloužení dráhy podzemní vody a přitížení dna stavební jámy tak, aby nedošlo k jeho prolomení. Následně bylo dno stavební jámy zaplněno betonem, aby se snížila rychlost proudění vody a byly zahájeny práce na injektážích a zmrazování podloží stavební jámy. Příspěvek se podrobně zabývá jednotlivými kroky opatření k zabránění prolomení dna a destrukce stavební jámy jak z hlediska návrhu, tak i provádění.

Ve čtvrtém příspěvku s názvem „Tunel Untersamelsdorf – výzvy a zvláštní opatření při ražbě v jezerních jílech“ se pojednává o konvenční ražbě dvoukolejného železničního tunelu o ploše výrubu 133 m² v prostředí jezerních jílu s nadloží cca 25 m. Při provádění tunelu v mimořádně složitých geotechnických podmínkách bylo nutné nasazení mimořádných doprovodných opatření, k jakým patřilo zlepšování prostředí kaloty pomocí tryskové injektáže, stabilizace čelby pomocí vertikálních sloupů tryskové injektáže, stabilizace boků výrubu pomocí velkopřůměrových pilot apod. Na ražený úsek tunelu délky 617 m navazovaly na obou portálech úseky délky 24 m tažené pod želvou.

V ražené části tunelu byly na obou bocích vrtány pro stabilizaci boků tunelu velkopřůměrové piloty, které byly v úrovni tunelové trouby vyztužené, nad úrovní kaloty byly vrty jen zpětně vyplněné materiálem. Do těchto stěn z velkopřůměrových pilot byla zavázána pata kaloty primárního ostění. Z povrchu území byly vrtány i příčné přepážky se 3–4 sloupy tryskové injektáže s odstupem v podélném směru 2 m, které při ražbě zajišťovaly stabilitu čelby. Dno kaloty bylo dočasně stabilizováno výměnou zeminy s použitím geotextilie. K uzavření prstence primárního ostění docházelo 10 m za čelbou jádra. Přednáška přesně popisovala jednotlivá opatření, průzkumy a laboratorní zkoušky potřebné pro bezpečný návrh i postup výstavby.

Bázový tunel Engelberg ve Stuttgartu nenašel klid ani po 20 letech od uvedení do provozu a na rok 2019 je plánováno další zesílení ostění a železobetonové desky, na které je podobně jako v tunelu Blanka umístěna vozovka. Příčinou sanací je stále působící bobtnací tlak anhydritu, ve kterém je tunel vyražen a který negativně ovlivnil nejen realizaci tunelu, ale i celé období jeho provozování. Tomuto tlaku již navržené ostění není schopné vzdorovat, a proto je nutno přistoupit k sanačním opatřením. Návrhem opatření se zabýval příspěvek projektantů z firmy Amberg Engineering.

Poslední příspěvek v dopoledním bloku se zabýval výstavbou podzemní kaverny v ústí přístupových šachet na báзовém tunelu Semmering v úseku SBT 2.1 v Göstritz. Jedná se o dočasný přístup k jednokolejným tratovým tunelům zřízený především z logistických a časových důvodů. Při ražbě přístupového tunelu do prostoru kaverny byla zastižena neočekávaná geologická porucha, která si vyžádala provedení dodatečného průzkumu a změnu projektu kaverny. Průzkumy a návrh řešení probíhaly v souladu s rakouskou směrnicí pro geotechnické plánování. Přednáška popisovala jednotlivé kroky od průzkumných prací, změnu prováděcího projektu až po realizaci kaverny.

Odpolední blok přednášek byl zaměřen na relevantní parametry pro volbu tunelovacího stroje. Jeho součástí byly přednášky zaměřující se na volbu tunelovacího stroje v různých geotechnických podmínkách. První přednáška byla zaměřena na štíty s aktivním pažením čelby pomocí hydrostatického tlaku (hydroštíty, bentonitové a zeminové štíty) s ohledem na možnost separace podpůrného média a zeminy. V přednášce jsou popisovány laboratorní zkoušky, způsob jejich vyhodnocování a aplikace výsledků při volbě tunelovacího stroje.

Druhý příspěvek byl zaměřen na volbu vhodného tunelovacího stroje pro ražbu v nesoudržných zeminách. Přednáška s názvem „Volba a specifikace tunelovacího stroje jako rozhodujícího faktoru pro úspěch projektu“ popisuje v 5 fázích postup volby tunelovacího stroje. První fází je definování cíle, definice okrajových podmínek projektu a geotechnické plánování. Druhou fází je vhodnost použití tunelovací metody, ve třetí fázi jsou definovány kvantitativní parametry, jako rizika, rychlost ražby, doba výstavby a výše nákladů. Ve čtvrté fázi jsou hodnoceny kvalitativní parametry a poslední pátou fází je konsenzuální výběr metody specifikace tunelovacího stroje.

Další přednáška řešila použití parametrů tunelovacího stroje a provozních dat jako normativních podkladů pro smluvní hodnocení ražby pomocí tunelovacích strojů v pevných

horninách. Jednalo se o problematiku úzce spojenou s rakouskou normou ÖNORM B2203-2 definující smluvní vztahy při ražbě tunelů pomocí tunelovacích strojů.

Na rozdíl od předchozích spíše teoretických přednášek se další příspěvek s názvem „Od geologické zprávy k ražbě pomocí tunelovacího stroje: Stanovení koncepce ražby pro hlavní stavební úseky Brennerského báзовého tunelu“ zaměřil na konkrétní geotechnické podmínky zjištěné při ražbě průzkumné štoly Ahrental-Pfons rakouského úseku Brennerského báзовého tunelu a jeho specifika.

Páteční dopolední program byl zaměřen na tvorbu geotechnických modelů v procesu projektování a výstavby.

První příspěvek se týkal geologického 3D modelování na příkladu tunelu Karawanken, úsek sever, od získávání vstupních údajů přes vlastní modelování až po zobrazení výsledků a použití v praxi.

Druhý příspěvek popisoval způsob přizpůsobení modelu skutečně zastiženým podmínkám na příkladu skalního říční, ke kterému došlo v roce 2007. Jako podklad pro návrh sanace musel být nalezen model geologických poměrů v dané oblasti, materiálový model, model mechanismu porušení skalní stěny a výpočetní model. Model byl v průběhu sanace upřesňován při odtěžování zřícených bloků horniny a zjišťování jejich skutečného stavu zvětrání a dalších parametrů potřebných pro modelování.

Do kategorie statických výpočtů patří i posuzování primárního ostění ze stříkaného betonu. I když EC7 není primárně určen pro oblast tunelových staveb, zásady v něm uvedené se částečně používají. Rakouská geotechnická společnost vydala v roce 2018 doporučení pro výpočet ostění ze stříkaného betonu podle EC7 a toto doporučení všichni účastníci kolokvia zdarma obdrželi. Příspěvek shrnuje zkušenosti z přípravy tohoto materiálu a poukazuje na některá specifika návrhu ostění ze stříkaného betonu.

Zpět do oblasti geotechnického modelování vrátil účastníky kolokvia příspěvek o geotechnickém modelování ve fázi projektování a výstavby báзовého tunelu Semmering. V případě tunelů s vysokým nadložím je ve fázi projektování v geotechnických modelech velká míra nejistoty a v průběhu výstavby je nutné na základě geologického mapování a geotechnického monitoringu tyto modely verifikovat a upravovat. Praktické použití modelu je ukázáno na dvou příkladech. Prvním příkladem je návrh duktilního primárního ostění s použitím kompenzačních elementů v poruchové zóně, druhý příklad ukazuje použití modelu na stanovení vlivu pórového tlaku vody na deformační chování horninového masivu v poruchové zóně.

Dalším konkrétním případem ověřování předpokladů při realizaci díla byl příspěvek na téma: „Ověřování radiálních deformací v podélném směru pomocí měření na báзовém tunelu Brenner“. Pro měření byl z čela kaverny nad budoucí výrub traťového tunelu vyvrtán inklinometr délky 40 m. Cílem bylo sledování reálné hodnoty radiální deformace s ohledem na volbu tunelovacího stroje a rizika jeho sevření horninovým tlakem a optimalizaci při dimenzování tunelového ostění.

V případě tlačivých hornin a konvenční ražby tunelů s vysokým nadložím hraje důležitou roli zajištění integrity horninového nosného prstence primárním ostěním. Aby nedošlo vlivem deformace k jeho porušení, používají se již celou řadu let kompenzační elementy, které však procháze-



Obr. 1 Ing. Marin Srb, Ph.D., propaguje na kolokviu konání konference Podzemní stavby Praha 2019

Fig. 1 Ing. Marin Srb, Ph.D. promotes the Underground Construction Prague 2019 conference on the Colloquium

jí vlastním konstrukčním vývojem. Přednáška na téma „Další vývoj kompenzačních elementů a jejich napojení na stříkaný beton“ sumarizuje historický vývoj těchto prvků a ukazuje další směr vývoje elementů s vhodnou náplní, která zajistí zpočátku požadovanou tuhost prvku a na konci jeho deformace požadovaný odpor. Na grafech byly ukázány pracovní diagramy a možnost řízení tuhosti prvků v závislosti na pórovitosti výplňového materiálu. Zásadní roli hraje i detail napojení kompenzačního elementu na ostění ze stříkaného betonu, neboť při špatném napojení může při zatížení dojít k vybočení a selhání prvku v ostění.

Opatřeními při ražbě tunelů ve zhoršených geotechnických podmínkách se zabýval příspěvek „Předstihové zajištění výrubu pomocí deštníků – technický vývoj a jeho výhody“. Začátek používání mikropilotových deštníků se datuje do 70. let minulého století. Jejich nasazení závisí na možnostech vrtacích zařízení s ohledem na přesnost, rychlost vrtání a s tím spojený čas instalace a na možnostech nastavování použitého materiálu. Příspěvek sumarizoval technický vývoj právě z pohledu těchto kritérií.

Přednáška s názvem „Zlepšení uložení tubingových prstenců pomocí geotextilních trubek“ ukazuje možnosti aktivace prstence při ražbě tunelů pomocí tunelovacích strojů ve skalních horninách bezprostředně za pláštěm stroje. Standardně se pro výplň prostoru mezi prefabrikovaným ostěním a lícem výrubu používá nesoudržný materiál, který s ohledem na úhel vnitřního tření a nulovou soudržnost nelze aplikovat hned za pláštěm stroje, což může vést k vlivem nedostatečného uložení k ovalizaci prstence a nadměrnému namáhání spojů. V rámci výzkumného úkolu byl vyvinut systém s integrovanou injektovatelnou geotextilní „hadicí“, která umožňuje rovnoměrný obsyp prstence a jeho optimální uložení. Injektáž probíhá otvorem pro zafoukávání nesoudržného materiálu. Příspěvek uvádí i praktické ukázky z použití tohoto systému na tunelu Koralmb.

I poslední příspěvek kolokvia byl na inovativní téma „Vývoj vodopropustného materiálu pro výplň prostoru za tubingy u jednopláštěvého drénovaného ostění“. Jednopláštěvá prefabrikovaná ostění s těsněním spár mezi tubingy se používají do hodnoty hydrostatického tlaku 5 barů. Při

vyšším tlaku je použito dvouplášťové ostění s mezilehlou izolací a gravitačním odvodněním, přičemž „primární ostění“ tvoří vodopropustné prefabrikované ostění a jako sekundární ostění je použito monolitické ostění. Tato varianta je finančně výrazně náročnější. Proto byla vyvinuta vodopropustná hmota pro aktivaci tubingů, která umožní použití vodopropustného prefabrikovaného ostění. Příspěvek popisuje vývoj nového materiálu, jeho zkoušení i použití na stavbě.

ZÁVĚR

Rakouský tunelářský den i geomechanické kolokvium svým rozsahem i šíří témat opět ukázalo, že za našimi hranicemi se v oblasti tunelů něco „děje“. Ve velkém se staví podzemní stavby evropského významu, probíhá vývoj nových technologií i materiálů a řeší se problematika norem, předpisů a smluvních vztahů. Návštěva konference dává účastníkům pocit, že jsou součástí komunity, která

není na okraji stavebních oborů a která se stále rozvíjí. Tento pocit je zvláště pro účastníky z České republiky povznášející, neboť situace v oblasti tunelů je u nás taková, jaká je. Přednášky z geomechanického kolokvia jsou součástí čísla 5/2018 časopisu Geomechanics and Tunneling, který již vyšel a byl součástí materiálů ke konferenci. Přednášky z Rakouského tunelářského dne budou publikovány v čísle 6/2018 téhož časopisu.

Díky mimořádně dobrým vztahům s organizátory konference a především s předsedou ÖGG prof. Wulfem Schubertem nám bylo umožněno prezentovat naši konferenci Podzemní stavby Praha 2019 a Ing. Martin Srb z firmy 3G Consulting Engineers účastníky konference vyzval k podání abstraktů a pozval je na příští rok do Prahy (obr. 1). Nezbývá než doufat, že i nám se podaří o zajímavých podzemních stavbách alespoň slyšet a načerpat informace i zkušenosti z jejich projektování či provádění.

EXKURZE ÖGG NA BÁZOVÝ TUNEL SEMMERING – ÚSEK SBT 2.1 FRÖSCHNITZGRABEN EXCURSION TO SEMMERING BASE TUNNEL – SECTION SBT 2.1 FRÖSCHNITZGRABEN

The paper informs about the excursion which was traditionally organised within the framework of the Geomechanical Colloquium in Salzburg. This year the excursion was focused on the construction of the Semmering base tunnel located in the 13 km long Fröschnitzgraben section (marked as SBT 2.1), which is the longest section of the project. The construction of this section commenced as long ago as 2014. The 27.3km long Semmering base tunnel, as well as another important base tunnel, the 32.8km long Koralm, lie on the Baltic – Adriatic Axis, the objective of which is to develop a high-speed railway line linking the Polish harbour of Gdansk with Warsaw, Katowice, Ostrava, Brno, Vienna, Graz and Klagenfurt and further proceeds across Italy up to the harbour of Trieste at the Adriatic seashore.

Stalo se již dobrou tradicí, že v rámci Geomechanického kolokvia v Salzburku navštěvují zájemci z řad účastníků zajímavé rakouské tunelové projekty. Ani letos tomu nebylo jinak a exkurze byla zaměřena na výstavbu bazového tunelu Semmering v jeho nejdelším 13 km dlouhém úseku Fröschnitzgraben, označovaném jako SBT 2.1. Výstavba tohoto úseku započala již v roce 2014.

Bázový tunel Semmering délky 27,3 km, stejně jako další významný bazový tunel Koralm délky 32,8 km, leží na balticko-adriatické ose, která má za cíl spojit rychlou železnicí polský přístav Gdaňsk s Varšavou, Katovicemi, Ostravou, Brnem, Vídní, Grazem, Klagenfurtem a dále směřuje přes italské území až do přístavu Terst u Jaderského moře. Proto má svým způsobem výstavba tohoto tunelu svůj význam i pro Českou republiku. Pokud se na jejím území jednou podaří postavit vysokorychlostní trať, která by svými parametry odpovídala navazujícím železničním úsekům, které jsou již dnes ve výstavbě, stane se součástí moderního evropského železničního systému. Bázový tunel Semmering po uvedení celého traťového úseku do provozu zajistí kvalitní železniční spojení mezi Dolním Rakouskem a Štýrskem s rychlostí až 230 km/hod. Nová trasa odlehčí historickou trať Semmeringbahn a zkrátí cestu mezi Vídní a Grazem o 30 minut na pouhé dvě hodiny.

V Rakousku jsou nově budované tratě určené pro kombinovanou dopravu, a tak bude tunel využíván i pro nákladní dopravu. Trasu pod severními Alpami bude možné díky příznivým sklonovým poměrům a tím i nižší energetické náročnosti projet nákladním vlakem s pouze jednou lokomotivou. Maximální sklon nivelety je jen 8,4 ‰. Tunel tvoří dvě jednokolejné tunelové trouby spojené po 500 m tunelovými propojkami. Součástí tunelu je i nouzová podzemní stanice Fröschnitzgraben, na jejíž výstavbu byla exkurze pořádána. Načasování umožnilo nejen prohlídku kaveren tohoto rozsáhlého podzemního díla, ale i tunelovacího stroje, jehož montáž v době exkurze probíhala. Tento text doplňuje foto-reportáž z exkurze a na fotografie se odvolává (viz str. 41 a 42 tohoto čísla časopisu Tunel).

Na povrchu území je pro zařízení staveniště určena poměrně malá plocha, která z části vznikla jako umělá zemní konstrukce z vyztužené zeminy. Kromě kanceláří a skladových ploch stavebního materiálu je součástí staveniště i betonárka a mezisklad tubingů pro zásobování v budoucnu nasazených dvou tunelovacích strojů (obr. 1). Vlastní výroba tubingů s plánovaným množstvím 50 000 ks probíhá v cca 25 km vzdáleném městečku Neunkirchen, kde se na přilehlé ploše nachází hlavní sklad tubingů. Odtud jsou na staveniště prefabrikáty převáženy nákladními automobily. Vzhledem k omezeným prostorovým podmínkám na povrchu území je velká část zařízení staveniště tunelu Fröschnitzgraben přesunuta 400 m pod zem do prostoru budoucí multifunkční nouzové stanice. Pro svislou dopravu osob i materiálu do podzemí slouží dvě šachty o průměru 8,5 m a 11 m (obr. 3). Podrobně se návrhem a výstavbou šachet zabývá článek [1]. Doprava osob dvoupatrovým klecovým výtahem do podzemí trvá cca 2 minuty. V souběžně provozovaném nákladním výtahu bylo možné vidět mixy s betonem pro stříkané primární ostění konvenčně ražených úseků tunelů. Ze stavebně-provozních důvodů jsou traťové tunely o průměru 10 m a střední kaverna stanice o výšce 15 m až 17 m propojeny třemi příčnými kavernami o výšce výrubu cca 15 m. Šířka kaveren 20 m vede k ploše výrubu

až 300 m². Ražba podzemního díla probíhala v prostředí rul a krystalických břidlic označovaném jako „Wechsel-Kristallins“. Geologické poměry se i v rámci střední kaverny délky téměř 100 m měnily. Zatímco uprostřed byly zastíženy očekávané příznivé geotechnické podmínky, na začátku a konci kaverny byly zastíženy tektonické poruchy o mocnosti několika metrů s horninami nižších pevností. Výrub je v místě křížení kaveren zajištěn primárním ostěním o tloušťce až 400 mm a kotvami o délce 12 m. Při ražbě dosahovala deformace výrubu 150 mm, což bylo 3x více, než očekávaná deformační prognóza. Proto zpočátku docházelo k poškození primárního ostění smykovými trhlinami. Aby nedocházelo při těchto deformacích k drcení stříkaného betonu a byla zajištěna integrita nosného horninového prstence, byly po počátečních zkušenostech z ražby západní části kaverny do primárního ostění osazovány ocelové deformační elementy (obr. 2), které byly po odeznění deformace zastříkány betonem. Tento způsob ochrany primárního ostění byl použit a je používán i v konvenčně ražených úsecích traťových tunelů, kde by velikost deformace horninového masivu způsobila destrukci primárního ostění. Konvenčně ražený úsek traťových tunelů ukazuje obr. 11.

Šachta č. 1 je zaústěna do středního tunelu stanice (obr. 4), šachta č. 2 do prodloužení příčné kaverny č. 2 u koleje č. 2. Po uvedení do provozu šachty zůstanou funkční a budou sloužit jako vzduchotechnické objekty. V příčné kaverně mezi traťovým tunelem a středním tunelem stanice je umístěna mezideponie rubaniny (obr. 5), která je drcena v drtičce umístěné do střední kaverny (obr. 6). Ve středním tunelu se nacházejí i jeřáby pro montáž tunelovacího stroje a další pracovní mezisklad tubingů (obr. 7). Po montáži ve střední kaverně stanice byl tunelovací stroj přesunut do traťového tunelu, jak ukazuje obr. 8. Na obr. 9. jsou patrné rozměry střední a příčné kaverny v porovnání s tunelovacím strojem o průměru řezné hlavy 10,14 m. Přístup do multifunkční stanice umožňuje konvenční ražbu pomocí NRTM směrem k portálu Mürzzuschlag a nasazení dvou tunelovacích strojů na ražbu traťových tunelů směrem k portálu Gloggnitz. Pro ražbu traťových tunelů jsou použity dva tunelovací stroje francouzského výrobce NFM Technologies o celkovém výko-

nu 14 motorů 4760 kW, přítlačné síle 90 000 kN a maximálním krouticím momentu 26 000 kNm. Řezná hlava je osazena 63 diskovými dláty a rubanina je z čelby odebírána 16 otvory (obr. 10). Délka stroje dosahuje 120 m a váha 2500 t. Prstenec ostění je složen se 6 ks tubingů šířky 2 m. Pomocí tunelovacích strojů bude vyraženo 2x9 km traťových tunelů. Tunelovací stroj si bylo možné v rámci exkurze projít a seznámit se s jeho částmi. Doprava stroje na stavbu probíhala až do Lince lodní dopravou. V Linci byly jednotlivé díly přeloženy na nákladní automobily a dopraveny šachtami do podzemní montážní komory ve středním tunelu stanice.

Po vyfárání šachtou č. 1 z podzemí opět na povrch exkurze pokračovala k nedaleké deponii rubaniny Longsgraben. Pro deponii bylo vybráno údolí, jehož původní dno bude uložením rubaniny zvýšeno o cca 60 m. Deponie je při délce 960 m a šířce 300 m určena pro uložení 4,25 milionu m³ materiálu. Kromě dalších opatření, jako zpevnění svahů, vytvoření a zajištění přístupových cest bylo v počátku nutné provést přeložku potoka a jeho nové koryto situovat na hranu budoucí úrovně povrchu údolí.

Díky výkladu zástupce firmy 3G Consulting Engineers poskytla exkurze účastníkům ucelený obrázek o problematice výstavby bazového tunelu Semmering, nasazení tunelovacích strojů, konvenční ražby v úsecích se zvýšeným horninovým tlakem i souvisejících činnostech spojených s logistikou a deponováním rubaniny. Účastníci si měli možnost na vlastní oči prohlédnout rozsáhlé podzemní dílo evropského významu. Protože investor dbá na popularizaci stavby, je u každého zařízení staveniště vystavěno infocentrum a rozhledna, ze které mají návštěvníci možnost sledovat dění na staveništi. Rozhledna zůstane na místě zachována i po uvedení díla do provozu.

Z České republiky se exkurze zúčastnil jeden zástupce, ze Slovenska dva zaměstnanci Slovenských drah. K zajímavostem této stavby patří i skutečnost, že se na její výstavbě v dresu investora podílejí i čeští kolegové z firmy 3G Consulting Engineers s.r.o. Termín uvedení díla do provozu je plánován na rok 2024.

Ing. LIBOR MAŘÍK, HOCHTIEF CZ a. s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] ROŽEK, J., JÁGR, O., WAGNER, K. A. Návrh přístupových šachet na novém bazovém tunelu Semmering. *Tunel*, 2013, č. 3, str. 36-43
- [2] POISEL, A., WEIGL, J., SCHACHINGER, T., VANEK, R., NIPITSCH, G. Semmering-Basistunnel – Vortrieb der Nothaltestelle in komplexen Gebirgsverhältnissen. *Geomechanik und Tunnelbau*, 2017, č. 5, str. 458-466
- [3] <https://www.youtube.com/watch?v=7CVpRu5rzBk>

TUNELÁŘSKÉ ODPOLEDNE 2/2018 TUNNEL AFTERNOON 2/2018

The second Tunnel Afternoon in 2018 was held on the 19th September 2018. Its theme lied already for the second time in current activities of Czech companies and individuals at foreign tunnel construction projects. Ing. Jan Korejčík and Ing. Radek Bernard (representing the Austrian firm D2 Consult International GmbH on the project) delivered a lecture titled Tunnel and life under Himalayan tops. The next lecture was dedicated to the NATM and TBM driving of the

Semmering base railway tunnel. The topic was presented by RNDr. Tomáš Svoboda, Ph.D. and Mgr. Zmítko (3G Consulting Engineers s.r.o.). Bc. Tomáš Němeček (Subterra a.s.) prepared a lecture on the construction of the urban motorway ring in Stockholm, where Subterra a.s. has been participating by constructing the Skärholman and Sättra tunnels. Further on, Ing. Aleš Gotthard (Metrostav a.s.) took the floor and informed about the construction of the

Dýrafjörður tunnel in Iceland. Ing. Jiří Šach (Metrostav a.s.) dedicated his lecture to the construction of tunnels in another Nordic country – this time in Norway, where the company of Metrostav has been driving road tunnels forming parts of the by-pass road around the town of Kongsberg. The last lecture was delivered by Ing. Marek Gasparovič (Metrostav a.s.), informing about tunnels in the Turkish metropolis, Istanbul, where the company of Metrostav a.s. also participates. He described the construction of a depot on the M7 metro line and the construction of an underground funicular line in Istanbul.

Druhé Tunelářské odpoledne roku 2018 se uskutečnilo 19. září 2018 v Centru vzdělávání Skupiny Metrostav. Jeho tématem byly již podruhé současné aktivity českých firem a jednotlivců na zahraničních tunelových projektech. Přípravou byli pověřeni Ing. Václav Soukup (Metrostav a.s.) a prof. Ing. Matouš Hilar, M.Sc., Ph.D. (3G Consulting Engineers s.r.o.). Prof. Ing. Matouš Hilar, M.Sc., Ph.D. celé Tunelářské odpoledne rovněž moderoval.

Jako první vystoupili Ing. Jan Korejčík a Ing. Radek Bernard (na projektu zastupovali rakouskou firmu D2 Consult International GmbH), s přednáškou Tunel a život pod vrcholky Himalájí. Velice poutavou formou představili stavbu tunelu Rohtang v Indii v oblasti Himachal Pradesh a život v dané lokalitě, kde oba přednášející pracovali jako zástupci inženýrského dozoru. Jedná se o silniční tunel délky 8,8 km, ražba probíhala metodou NRTM a Drill&Blast pod průsmekem Rohtang Pass. Byla vyražena jedna trouba pro dva pruhy. Tunel má únikovou chodbu umístěnou pod vozovkou. Tunel v nadmořské výšce 3100 m v budoucnosti zpřístupní oblast Lahaul & Spity, která bývá v zimním období zcela odříznuta od okolního světa. Silnice pokračuje dále do oblasti Ladakh, stát Jammu & Kasmir, kde současný armádní investor připravuje další tři tunely k výstavbě.

Další přednáška byla o NRTM a TBM ražbách bázevého železničního tunelu Semmering, RNDr. Tomáš Svoboda, Ph.D. a Mgr. Zmítka (3G Consulting Engineers s.r.o.) se věnovali problematice zastižené geologie při ražbách zmíněné podzemní stavby, problémům s tím spojených a jejich řešení. Lze připomenout, že na tuto stavbu se uskutečnil odborný zájezd CzTA v roce 2017.

Bc. Tomáš Němeček (Subterra a.s.) připravil přednášku o stavbě městského okruhu ve Stockholmu, kde se společnost Subterra a.s. podílí stavbou tunelů FSE209 Skärholman a Sättra. Městský okruh má celkovou délku 21 km, z toho délka hlavních tunelů činí 2x18 km. Přístupové rampy jsou dlouhé 14 km. V tunelech budou vždy tři pruhy a součástí stavby je i šest křižovatek. Předpokládaná cena je 27,6 mld. SEK (1 SEK = 2,50 Kč). Někteří z posluchačů měli posléze možnost tuto stavbu navštívit v rámci letošního odborného zájezdu CzTA.

Po přestávce se ujal slova Ing. Aleš Gothard (Metrostav a.s.). Seznámil přítomné posluchače se stavbou tunelu Dýrafjörður na Islandu. V budoucnu se díky tomuto tunelu zpřístupní oblast, která je v zimním období nedostupná z pevniny. Jedná se o již třetí stavbu tunelu společnosti Metrostav a.s. na tomto ostrově. Tunel je dlouhý 5,6 km a je ražený metodou Drill&Blast. Stavba byla zahájena v červnu 2017 a její ukončení se předpokládá v září 2020.

Ing. Jiří Šach (Metrostav a.s.) se věnoval výstavbě tunelů v další severské zemi – tentokrát v Norsku, kde společnost Metrostav a.s. razí silniční tunely, které jsou součástí obchvatu města Kongsberg. Jedná se o dva tunely délky 283 m (tunel Moane) a 440 m (tunel Vollås), stavba byla zahájena v lednu 2017 a měla by být ukončena v září 2020. Úsek obchvatu, kde se oba tunely nacházejí, je dlouhý 4,7 km a jeho součástí jsou i tři mosty, tři podjezdy a čtyři technické místnosti.

Jako poslední vystoupil Ing. Marek Gasparovič (Metrostav a.s.) s přednáškou o tunelech v turecké metropoli Istanbul, na kterých se podílí rovněž společnost Metrostav a.s. Popsal výstavbu depa linky metra M7 a stavbu podzemní lanovky. V rámci výstavby depa se jedná o 1950 m ražených a 375 m hloubených tunelů. Lanovka, druhý projekt, má být napojena na linku metra M6. Oba projekty se setkávají s řadou výzev, mezi které patří jiný přístup tamních lidí. Také oproti českým stavbám je zapotřebí brát velký ohled na seismicitu, která vzhledem k oblasti má velký vliv na projekt.

Na závěr proběhla diskuse, do které se zapojila velká část přítomných řečníků. Celkem se tohoto Tunelářského odpoledne zúčastnilo okolo 65 lidí. Většinu přednesených příspěvků je možné vyhledat na webových stránkách www.ita-aites.cz v sekci semináře.

Ing. MARKÉTA PRUŠKOVÁ, Ph.D.,
CzTA ITA-AITES

PIARC INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROAD TUNNEL OPERATIONS AND SAFETY PIARC INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROAD TUNNEL OPERATIONS AND SAFETY

The 1st Road Tunnel Operations and Safety conference organized by the World Road Association was held in Lyon, France, at Lyon Convention Centre, from 3rd to 5th October 2018. Conference was organized with the support of the European Commission, ITA COSUF (ITA Committee on Operational Safety of Underground Facilities), the French Centre for Tunnel Studies and French-speaking Working Group of Road Tunnel Operators (also personally). It was aimed at tunnel owners, operators, rescue services, designers, tunnel safety officers, equipment suppliers and installers. More than 300 participants from 37 countries have met at the conference. The welcome messages were presen-

ted by Jean-Luc Da Passano (vice president of the Greater Lyon Council), Claude Van Rooten (president of PIARC-World Road Association), André Broto (president of PIARC French National Committee) and Marc Tesson (Chairman of PIARC Technical Committee TC D.5). Two days of technical sessions and round table discussions were followed by a day of optional technical tours to the most interesting tunnels in the Auvergne-Rhône-Alpes region. The following technical excursions could be selected: Croix Rousse Tunnel in Lyon, 3 tunnels at A89 motorway (Violay, Bussière and Chalosse), Frejus Tunnel and Mont-Blanc Tunnel. As the only representative of the University



Obr. 1 Úniková štôlna tunela Croix Rousse s možnosťou používania pre chodcov, cyklistov a jednosmerný pruh pre autobusy (1700 m)

Fig. 1 Escape gallery of Croix Rousse Tunnel with possibility of using by pedestrians, cyclists and a uni-directional bus lane (1700m)

of Žilina and also from Slovakia author implicitly chose the excursion to the Mont Blanc Tunnel.

Svetová cestná organizácia PIARC sa na základe rastu celosvetovej urbanizácie a potreby hľadať podzemné riešenia, s ohľadom na svetový nárast populácie, rozhodla zorganizovať prvú medzinárodnú konferenciu zameranú na Prevádzku a bezpečnosť cestných tunelov. Cestné tunely sa z tohto pohľadu stávajú čoraz dôležitejšou súčasťou dopravnej infraštruktúry. Všetky zainteresované strany (investor, zhotoviteľ, správca, užívateľ) čelia rastúcim výzvam z hľadiska prevádzky a bezpečnosti, zahŕňajúc efektívnosť vynaložených prostriedkov. Tematicky prvá medzinárodná konferencia organizovaná Svetovou cestnou organizáciou sa uskutočnila vo francúzskom Lyone v dňoch 3. až 5. septembra 2018. Otvorenie konferencie a dvojdnový program prednášok a diskusií prebehli v Lyonskom kongresovom centre za účasti mnohých zahraničných hostí, zástupcov vlády, súkromného sektora, veľkých dodávateľských spoločností, správcov tunelov a mnohých ďalších.

Po úvodných príhovoroch nasledoval otvárací blok konferencie s príhovormi vybraných významných hostí a následnou diskusiou na tému hlavných problémov prevádzky a bezpečnosti cestných tunelov z pohľadu užívateľov.



Obr. 3 Úniková štôlna z tunela Mont Blanc umiestnená pod vozovkou (11 611 m)

Fig. 3 Escape gallery from Mont Blanc Tunnel positioned under the roadway (11,611 m)



Obr. 2 Printscreen zo simulácie virtuálneho tréningu hasičov tunela Fréjus (12 870 m)

Fig. 2 Printscreen from simulation of virtual fire rescuers training for Fréjus Tunnel (12,870m)

Hlavnými protagonistami boli najmä zástupcovia ministerstiev dopravy nielen z Európy, ale napríklad aj z Kanady. Počas prvého dňa sa na pódii vystriedalo až 12 prednášateľov a diskutérov v rámci dvoch sekcií prednášok a dvoch sekcií organizovaných ako diskusie za okrúhlym stolom. Témou prvej sekcie prednášok boli nástroje a systémy bezpečnostného manažmentu, z ktorých stojí za to spomenúť prezentáciu z Japonska od Atsushi Ichikawa, ktorý pripravil prehľad bezpečnostných opatrení v japonských tuneloch. Veľmi zaujímavou prednáškou druhej poobedňajšej sekcie zameranej na udržateľnosť prevádzky bola prezentácia o lyonskom Croix Rousse tuneli s inovatívnym využitím unikovej štôlny pre iné spôsoby dopravy priateľské k životnému prostrediu. Na záver prvého dňa sa uskutočnili dve diskusie s odborníkmi z oblasti bezpečnosti prevádzky tunelov ohľadne riešenia otázok bezpečnosti v tuneloch s vysokou intenzitou premávky a vzdialeným riadiacim strediskom (obr. 1).

Konferencia na druhý deň pokračovala vybranými prednáškami v dvoch odborných sekciách a štyroch diskusných blokoch. Začalo sa na tému bezpečnostných systémov a tunelového vybavenia, kde asi najzaujímavejšou prednáškou bola správa PIARC 3.2 zameraná na samočinné hasiace zariadenia. V ďalšom bloku na tému budúcnosti tunelovej bezpečnosti mnohých zaujala prezentácia Romana Borchelliniho z Talianska opisujúca projekt tréningu hasičov tunela Fréjus s využitím virtuálnej reality (obr. 2).

Diskusné bloky boli zamerané na súčasné praktiky a perspektívy technologického vybavenia tunelov, otázky súvisiace s hybridnými a inteligentnými vozidlami. Na záver bol prediskutovaný ďalší pracovný program PIARC.

Posledný deň konferencie sa niesol v duchu štyroch veľmi zaujímavých odborných exkurzií, napr. celodennej exkurzie do tunela Mont Blanc (obr. 3), ktorá zahŕňala prezentáciu súčasného stavu tunela z hľadiska prevádzky a bezpečnosti, ako aj prijaté opatrenia po katastrofe v roku 1999. Svoju pripravenosť a prácu názorne predviedla jedna z hasičských jednotiek, a tak účastníci si mohli pozrieť nielen priestory technologického vybavenia portálového objektu a riadiaceho centra, ale aj priestory únikových ciest z tunela.

Ing. PETER DANIŠOVIČ, PhD.,
Stavebná fakulta Žilinskej university v Žiline

KONFERENCE BEZPEČNOST PROVOZU V SILNIČNÍCH TUNELECH 2018 OPERATIONAL SAFETY IN ROAD TUNNELS CONFERENCE 2018

The company of K.B.K. fire, s.r.o., held the 7th annual international conference Fire Safety in Tunnels in Rožnov pod Radhoštěm from 19th to 20th September 2018. The conference was attended by representatives of companies based in the Czech and Slovak Republics, dealing with technological equipment of road tunnels. The conference brought lots of new information about safety measures, products and attitudes following the aim of increasing operational safety in road and motorway tunnels.

Společnost K.B.K. fire, s.r.o. ve dnech 19. 9.–20. 9. 2018 pořádala v Rožnově pod Radhoštěm VII. ročník mezinárodní konference požární bezpečnost tunelů 2018. Konference se zúčastnili zástupci firem zabývající se technologickým vybavením silničních tunelů z České a Slovenské republiky. O současné výstavbě dálničních tunelů na Slovensku informoval zástupce NDS a.s. Ing. Peter Schmidt, aktuální stav v koncepci řízení tunelového provozu přednesl zástupce

ŘSD ČR Mgr. František Rainer. Ing. Aleš Lebl, pověřená osoba podle NV č. 264/2009 Sb., informoval o bezpečnosti provozu v tunelech v České republice s ohledem na provozní a investiční náklady na příkladu tunelu Jeneček D6. Dipl. Ing. Petr Pospíšil ze Švýcarska přednesl zajímavou přednášku o bezpečnostních zařízeních v silničních tunelech a o řízení rychlosti proudění vzduchu v silničních tunelech s ohledem na evakuaci cestujících při požáru. Vzhledem k značně agresivnímu prostředí v tunelech byl zde diskutován vhodný materiál technologických zařízení v tunelu. Pro proudové ventilátory je nezbytná nerezová ocel A5. Závěrem bylo konstatováno, že konference přinesla množství nových informací o bezpečnostních opatřeních, výrobcích a přístupech sledujících zvýšení bezpečnosti provozu v silničních a dálničních tunelech.

Ing. MIROSLAV NOVÁK, METROPROJEKT Praha a.s.

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

ČESKÁ REPUBLIKA

MODERNIZACE TRATI ROKYCANY – PLZEŇ

Tak už je to tady, dne 15. 11. byl zprovozněn jižní tunel stavby Modernizace trati Rokycany – Plzeň (obr. 1) a ve dnech, kdy budete číst tuto informaci, by měl být již zprovozněn i tunel severní.

Při této příležitosti si dovoluji připomenout pár základních údajů o vlastní stavbě.

Samotná stavba začala předáním staveniště dne 9. 8. 2013. Po předání staveniště začal v místech nových přeložek stavby včetně ploch pro zařízení staveniště záchranný archeologický průzkum. Hlavně v místech budoucího zářezu před tunelem Homolka byl zaznamenán výskyt významných nálezů, a to až do hloubky cca 10 m. V důsledku těchto nálezů byl mimo jiné později návoz razicího štítu TBM minimálně o půl roku.

Ražba jižního tunelu začala 31. 1. 2015 a byla dokončena 7. 6. 2016. Trvala tedy déle než 16 měsíců, protože i geologie přinesla řadu překvapení. Po přesunutí razicího stroje byla ražba severního tunelu zahájena 27. 9. 2016 a dokončena 26. 9. 2017. Ražba severního tunelu tedy trvala již jen 12 měsíců, a to zejména díky využití zkušeností z ražby jižního tunelu.

Modernizace trati Rokycany – Plzeň ale není jenom o ražbě nejdelšího tunelu v České republice. Začátek stavby byl situován v km 88,007 na konci Rokycan, v místech dálničního mostu nad Klabavou byla provedena první přeložka trati do nové stopy v celkové délce téměř jeden kilometr, dále potom rekonstrukce zastávky Klabava, stejně jako předělání zastávky Ejpovice na železniční stanici s kusou kolejí, která bude sloužit pro místní trať Ejpovice – Chrást u Plzně – Radnice.

Ze železniční stanice Ejpovice se potom dostáváme k druhé přeložce, která stávající trať zkrátí o cca 6 km. Na

THE CZECH REPUBLIC

MODERNISATION OF ROKYCANY – PLZEŇ RAILWAY TRACK SECTION

There we go, the southern tunnel tube of the Modernisation of Rokycany – Plzeň project (see Fig. 1) was brought into service on the 15th November 2018 and the northern tunnel tube should have been placed into service in the days when you are reading this information.

On this occasion, we would like to remind you of some basic data on the construction itself.

The construction operations commenced by handing the construction site over to the contractor on the 9th August 2013. After the site takeover, rescue archaeological survey started in the locations of new road diversions including areas for construction sites. The occurrence of significant findspots was registered first of all in the locations of the future open cut in front of the Homolka tunnel at a depth of up to ca 10m. As a result of those findings and other obstacles, the delivery of the TBM was delayed by at least half a year.

The excavation of the southern tunnel tube commenced on the 31st September 2015 and was finished on the 7th June 2016. It means that, because of the fact that even geology brought many surprises, the work lasted over 16 months. The excavation of the northern tunnel began on the 27th September 2016, after shifting the tunnel boring machine back to the starting portal, and was finished on the 26th September 2017. It means that the excavation of the northern tunnel tube took only 12 months compared to the southern tube. It was shorter mainly thanks to making use of the experience gained during the excavation of the southern tunnel tube.



Obr. 1 Tunel Ejpvovice
Fig. 1 Ejpvovice tunnel

foto archiv MTS photo Metrostav archive

této přeložce byly vyraženy dva jednokolejné tunely dlouhé cca 4,150 m metodou TBM. V tunelu a na portálech bylo položeno přes 8,5 km pevné jízdní dráhy a téměř 4 km nové železniční tratě v nově vybudovaném zářezu. Tunely vycházejí na povrch v plzeňské části Doubravka, kde dochází k napojení na stávající trať. Zbývající 2 km trati byly ponechány ve stávající stopě. Zde byla zrekonstruována zastávka Doubravka a vybudovány tři železniční mosty, a to přes ulici Potoční, Mohylovou a ocelový most přes řeku Úslavu, za kterým rekonstruovaný úsek končí v km 102,155 podle nového staničení a 108,290 km podle staničení stávajícího. Na této kilometrůžce je právě vidět ono cca 6km zkrácení trati, které by včetně zvýšené rychlosti na modernizovaném úseku mělo přinést devítiminutové zkrácení jízdy mezi Rokycany a Plzní.

Celkem zde bylo také postaveno nebo zrekonstruováno 13 propustků, 16 železničních mostů včetně tří podchodů a jeden silniční most včetně přeložky komunikace II. třídy. Součástí stavby je také úplné zrušení trati v úseku Plzeň Doubravka – Chrást u Plzně a zrušení jedné koleje v úseku Chrást u Plzně – Ejpvovice.

Po celou dobu výstavby musel být zachován provoz minimálně po jedné traťové koleji, aby byl co nejméně ovlivněn železniční provoz.

Nyní je již téměř všechno hotovo a můžeme si tedy popřát jen šťastnou cestu.

Ing. BORIS ŠEBESTA, boris.sebesta@metrostav.cz

KOLEKTOR HLÁVKŮV MOST

Stavbu provádí sdružení firem Subterra a.s. a HOCHTIEF CZ a. s. Zadavatelem je Magistrát hl. m. Prahy. Jedná se o novostavbu kolektoru raženého (s použitím trhacích prací a mechanického rozpojování) i hloubeného (s kruhovým profilem hloubení do 8 m), s technickými a kabelovými komorami a odbočnou větví na Štvanickém ostrově. Nový kolektor je propojen se stávajícími kolektory na nábreží L. Svobody (NLS), resp. na severním předmostí Hlávkova mostu (SPHM). Celková délka ražených úseků (hlavní trasa a komory) je cca 416 m, souhrnná hloubka čtyř šachet je přibližně 130 m.

Rok 2017 byl na této stavbě ve znamení ražeb na všech objektech. Následovalo vyčištění protikleneb a profilace primárního ostění. Současně se prováděla instalace organizovaných svodů, injektáže primárního ostění a montáže

But the Modernisation of Rokycany – Plzeň project is not only about the excavation of the longest tunnel in the Czech Republic. The starting point of the construction was located at chainage km 88.007 of the rail track, at the end of Rokycany; the first relocation of the rail track to the new route, nearly 1km long, was carried out in the location of a motorway bridge over the Klabava river; the reconstruction of the Klabava intermediate railway station and reconstruction of the Ejpvovice intermediate station to a railway station with a dead-end track, which will be used for the local Ejpvovice – Chrást u Plzně – Radnice track was also carried out.

From the Ejpvovice railway station, we subsequently get to the second relocation, which will reduce the length of the existing track by ca 6km. Two ca 4150m long single-track tunnels were driven on this relocated track using the TBM method. Over 8.5km long slab track was laid in the tunnel and at the portals and nearly 4km of a new rail track were laid in the newly carried out cutting. The tunnels get to the surface in the Doubravka district of Plzeň, where the existing rail track is connected to them. Remaining 2km of the track were left to follow the existing route. In this location, the Doubravka intermediate station was reconstructed, as well as three railway bridges (the bridges over Potoční and Mohylova Streets and a steel bridge over the Úslava River).

The reconstructed section ends behind the steel bridge at chainage km 102.155 (according to the former chainage), respectively chainage km 108.290 according to the new chainage counting. The above-mentioned reduction of the rail track length by ca 6km, which can just be seen on the new length expressed in kilometres, should, including the increased speed, provide 9-minute reduction of the travel time between Rokycany and Plzeň.

In total, 13 culverts, 16 railway bridges including 3 underpasses and one road bridge including the relocation of a secondary road were constructed or reconstructed for the project. The complete removal of the railway track in the section between the district of Plzeň Doubravka and Chrást u Plzně and the removal of one track in the section between Chrást u Plzně and Ejpvovice is also a part of the project.

The operation on one running track had to be maintained as a minimum throughout the construction period so that the railway traffic was influenced as little as possible.

Currently nearly everything is finished, so we can wish the passengers a happy journey.

Ing. BORIS ŠEBESTA, boris.sebesta@metrostav.cz

HLÁVKŮV BRIDGE UTILITY TUNNEL

The construction is being carried out by a consortium of companies consisting of Subterra a.s. and HOCHTIEF CZ a. s. Prague City Hall is the contracting authority. The project comprises a new construction of a utility tunnel, both mined sections (Drill&Blast and mechanical disintegration) and cut-and-cover sections (with circular cross section; excavation up to the depth of 8m), technical chambers and cable chambers, and a branch on Štvanice island. The new utility tunnel is interconnected with existing utility tunnels on L. Svoboda embankment and the northern head of The Hlávkův Bridge. The total length of the mined sections (the

mezilehlých izolaci. Od října 2017 probíhaly práce na definitivním ostění hlavních tras mezi šachtami. Pro betonáž kleneb byla nasazena plně hydraulická elektricky posuvná ocelová forma délky 8 m. V dubnu byly dokončeny betonáže tras a postupně se provádělo definitivní ostění i na šachtách a technických komorách. Z toho tři kruhové šachty byly zabetonovány kontinuální betonáží a čtvrtá eliptická betonáží po sekcích. Kompletně byla betonáž definitivní dokončena v srpnu 2018.

Souběžně s dokončováním definitivního ostění byly zahájeny práce na montáži ocelových konstrukcí v trasách, technických komorách a nakonec i v šachtách. V současné době (konec října) jsou ocelové konstrukce téměř dokončeny a byly zahájeny práce na montáži vnitřního vybavení kolektoru. To se skládá ze vzduchotechniky, šplhavého výťahu, měření a regulace, pomocného řídicího stanoviště a čerpací stanice. Tyto práce jsou taktéž před svým dokončením. Po nich budou následovat komplexní zkoušky veškerého vybavení a předání stavby. Z dalších prací byl kompletně namontován plynovod DN500, dokončena montáž kolejové dopravy s kolejemi S18 v podlaže kolektoru. Konečný termín předání stavby je 21. 11. 2018.

*Ing. VÁCLAV DOHNÁLEK, Subterra a.s.,
Ing. RADEK KOZUBÍK, HOCHTIEF CZ a. s.*

SLOVENSKÁ REPUBLIKA TUNELY NA DIAĽNIČNEJ SIETI

Tunely Ovčiarisko a Žilina

Na úseku D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka s dĺžkou 13,2 km sa nachádzajú dva diaľničné dvojúrovňové tunely: Ovčiarisko a Žilina.

Tunel Ovčiarisko (obr. 2) s dĺžkou 2 367 m sa začal raziť 12. 9. 2014. Betonáž sekundárneho ostenia STR bola ukončená v októbri 2017 a betonáž sekundárneho ostenia JTR v decembri 2017. V súčasnosti je v oboch tunelových rúrach a priečných prepojoch zrealizovaná cementobetónová vozovka, pracuje sa ešte na zalievaní a úprave škár vo vozovke.

V STR prebieha odkrývanie zákrytových dosiek v rámci prípravy na montáž káblových rozvodov pre technologické vybavenie tunela, realizujú sa betonáže chodníkov pred priečnymi prepojkami a taktiež príprava podkladu stien pre



Obr. 2 Tunel Ovčiarisko
Fig. 2 Ovčiarisko tunnel

main route and chambers) amounts to ca 416m, the aggregate length of all four shafts amounts approximately to 130m.

On this project, 2017 was into token of excavation of all underground spaces. Clearing of inverts and profiling of primary linings followed. At the same time, the installation of organised water collection systems and the injection of grout behind the primary linings was carried out, and the intermediate waterproofing system was installed. The work on the final lining of the main routes between the shafts proceeded from October 2017. An 8m long, fully hydraulic, electrically shifting formwork was used for concreting the vaults. Concrete casting operations on the routes were finished in April and the final lining of the shafts and technical chambers was also gradually installed. Of them, three circular shafts were carried out using a continual concrete casting system and the fourth using elliptic casting gradually, section by section. Concrete casting was completely finished in August 2018.

The work on the assembly of steel structures on the routes, technical chambers and finally even in shafts commenced simultaneously with finishing the final linings. Currently (the end of October) the steel structures have been nearly finished and the work on the installation of the inner equipment of the utility tunnel has been commenced. The equipment is comprised of a ventilation system, a mast climbing lift, a measurement and control system, an auxiliary control station and a pumping station. Those installations are also nearing completion. Comprehensive testing of all equipment and handing of the construction over to the client will follow after the tests. Of the other work operations, a DN500 gas pipeline has been completely installed, a track haulage system with S18 rails in the bottom of the utility tunnel has been completed. The final deadline for the works handover is the 21st November 2018.

*Ing. VÁCLAV DOHNÁLEK, Subterra a. s.,
Ing. RADEK KOZUBÍK, HOCHTIEF CZ a. s.*

THE SLOVAK REPUBLIC TUNNELS ON MOTORWAY NETWORK

Ovčiarisko and Žilina tunnels

There are two twin-tube motorway tunnels in the 13.2km long Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka section of the D1 motorway: the Ovčiarisko and the Žilina.

The excavation of the 2367m long Ovčiarisko tunnel (see Fig. 2) started on the 12th September 2014. Casting of secondary lining concrete in the NTT was finished in October 2017 and concreting of the secondary lining in the STT in December 2017. At present, the concrete roadway pavement is finished in both tunnel tubes and cross passages; the work still continues on filling and treating joints in the pavement.

In the NTT, cover slabs are being lifted within the framework of the preparation of the installation of the cable distribution system for the technical equipment of the tunnel, concrete walkways are being carried out in front of cross passages and the substrate for coating of walls is being prepared. In the STT, the tunnel vault is being cleaned before coating it and slotted drains are being cleaned.



Obr. 3 Tunel Žilina – JTR po zrealizovaní vozovky a náterov
Fig. 3 Žilina tunnel – STT after roadway and coating realization

realizáciu náterov. V JTR sa robí čistenie vrchlíka tunela pred nátermi a čistenie štrbinových žľabov.

Na západnom portáli prebieha ukladanie ríms a prefabrikovaných panelov, a spätné zásypy portálu. Pracuje sa aj na objektoch prevádzkovej budovy a protihlukovej steny. Na východnom portáli prebieha taktiež ukladanie prefabrikovaných panelov a spätné zásypy portálu, vrátane gabiónových košov a montáže odvodňovacích žľabov.

Tunel Žilina je 687 m dlhý dvojrúrový tunel na stavbe D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka (obr. 3). Na oboch tunelových rúrach je už ukončené aj sekundárne ostenie tunela na razenej aj hlbenej časti, taktiež aj na priečných prepojeniach. Slávnostné prerazenie JTR bolo 5. 12. 2016 a STR 9. 2. 2017.

V oboch tunelových rúrach vrátane priečných prepojení je už kompletne položená cementobetónová vozovka, a sú zrealizované aj nátery bočných stien v obidvoch tunelových rúrach.

V súčasnosti sa realizujú práce na montáži technologického vybavenia tunela. Na západnom portáli prebiehajú práce na montáži ríms obkladových múrov a zásyp hlbenej časti tunela, vrátane realizácie gabiónov. Na východnom portáli sa realizuje odvodnenie spevnených plôch z betónových žľabov.

Priamym zhotoviteľom tunela je Združenie spoločností Doprastav, a.s. Bratislava a Metrostav a.s.

Tunel Višňové

Na konci leta 2018 bol po 40 mesiacoch razenia prerazený najdlhší slovenský diaľničný tunel Višňové. Ako prvá bola 28. augusta 2018 prerazená južná tunelová rúra, prerazenie severnej rúry sa udialo o niekoľko dní neskôr. Celková dĺžka razených tunelových rúr je 14 889 m. Paralelne s razením tunelových rúr prebiehalo aj razenie priečných prepojení. V tuneli je navrhnutých celkom 29 prepojení troch rôznych typov. Najmenší profil je určený pre unikajúce osoby, stredný umožňuje príjazd zásahových jednotiek a zároveň umiestnenie miestností s technologickým vybavením. V najväčšom profile je okrem toho navrhnuté umiestnenie trafostaníc. V polovici októbra 2018 bolo prerazených celkom 28 z 29 priečných prepojení. V súbehu s razením prebiehala tiež betonáž sekundárneho ostenia od oboch portálov, pričom je v polovici

At the western portal, ledges and pre-cast panels are being placed and the portal pit is being backfilled. The work on structures of the operations building and the noise attenuation wall is also proceeding. At the eastern portal, pre-cast panels are also being placed and the portal pit is being backfilled, including installation of gabion cages and drainage ducts.

The Žilina tunnel is a 687m long double-tube tunnel in the Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka section of the D1 motorway (see Fig. 3). The STT and NTT breakthrough celebrations took place on the 5th December 2016 and the 9th February 2017, respectively.

In both tunnel tubes including cross passages, the concrete roadway surface has been completely finished and coating of side walls has been completed in both tunnel tubes.

Currently the work on the installation of the tunnel equipment is being carried out. At the western portal, ledges are being laid on cladding walls and the cut-and-cover part of the tunnel is being backfilled including the installation of gabions. At the eastern portal, hard surfaced areas are being drained using concrete drainage channels.

The direct contractor for the tunnel is a consortium formed by Doprastav, a.s. Bratislava and Metrostav a.s.

Višňové tunnel

At the end of Summer 2018, after 40 months of excavation operations, the longest Slovakian motorway tunnel, Višňové, was broken through. The southern tunnel tube was broken through first, on the 28th August 2018. The breakthrough of the northern tube followed several days later. The aggregate length of the mined tunnel tubes amounts to 14,889m. The cross passages were driven in parallel with driving the tunnel tubes. The total of 29 cross passages of different types are designed for the tunnel. The smallest profile is intended for escaping persons, whilst the medium profile size allows for the arrival of intervention units and, at the same time, for rooms housing tunnel equipment. Rooms for the installation of transformer stations are in addition designed for the largest profile. In mid-October 2018, 28 cross passages of the total of 29 had been broken through. Casting of secondary lining concrete proceeded from both portals, in parallel with the excavation. As of the middle of October, 8352m of the upper vault excavation have been finished, representing approximately 60% of the length of the tunnel tubes.

The 7.5km long Višňové tunnel is part of the Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala section of the D1 motorway, running south of the regional centre, Žilina. The contractor for the motorway section is a consortium of companies Salini Impregilo S.p.A and Dúha, a.s.

Prešov tunnel

The Prešov tunnel is another motorway tunnel under construction in Slovakia. It is located on the Prešov West – Prešov South section of the D1 motorway. The Prešov tunnel passes through the Malkovská Hôrka hill, which is formed by flysh sediments with differently composed sub-horizontally deposited claystone and sandstone layers.

The route of the part of the south-western by-pass of Prešov formed by the tunnel will comprise two independent

októbra 2018 ukončených celkom 8352 m hornej klenby, čo je približne 60% dĺžky tunelových rúr.

Tunel Višňové s dĺžkou 7,5 km je súčasťou úseku diaľnice D1 Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala, ktorý je vedený južne od krajského mesta Žilina. Zhotoviteľom diaľničného úseku je združenie firiem Salini Impregilo S.p.A a Dúha, a.s. Zhotoviteľom stavby je združenie firiem Salini Impregilo S.p.A a Dúha, a.s.

Tunel Prešov

Tunel Prešov je ďalší diaľničný tunel vo výstavbe na Slovensku a nachádza sa na úseku diaľnice D1 Prešov západ – Prešov juh. Tunel Prešov prechádza vrchom Malkovská hôrka, ktorý je tvorený flyšovými sedimentmi s rôzne zloženými subhorizontálne uloženými ílovcovými a pieskovcovými vrstvami.

Trasa tunelovej časti juhozápadného obchvatu Prešova bude tvorená dvoma nezávislými tunelovými rúrami, STR bude mať dĺžku 2 230,50 m a JTR 2 244,00 m. Medzi tunelovými rúrami je navrhnutých 8 priečných prepojení na vytvorenie únikových a prístupových ciest pre záchranné zložky.

Razenie tunela oboch rúr prebieha proti sebe z oboch portálov.

Za účasti zástupcov investora, zhotoviteľa a rímskokatolíckeho košického pomocného biskupa bolo dňa 23. 8. 2018 vykonané slávnostné požehnanie tunela a osadenie sochy svätej Barbory.

Razenie tunela z východného portálu sa začalo dňa 1. 8. 2018 severnou tunelovou rúrou a dňa 23. 8. 2018 sa začala raziť JTR. Razenie portálovej časti sa vykonávalo pod ochranou mikropilotového dáždnika. Razenie je členené horizontálne na kalotu, stupeň a dno. Rozpojovanie prebieha sčasti mechanicky, sčasti s použitím trhacích prác.

K 30. 9. 2018 bolo z východnej strany tunela Prešov vyrazených celkovo 295 m (STR – 198 m, JTR – 97 m). Pri razení z východného portálu sú zastihnuté prevažne pieskovce pevnosti triedy R3 s tenkými vrstvami ílovcov pevnosti triedy R4.

Razenie tunela zo západného portálu sa taktiež začalo dňa 1. 8. 2018 južnou tunelovou rúrou a dňom 15. 8. 2018 sa začala raziť STR. V portálovej časti sa razilo pod ochranou mikropilotového dáždnika. Razenie je členené horizontálne na kalotu, stupeň a dno, rozpájanie prebieha sčasti mechanicky, sčasti s použitím trhacích prác.

K 30. 9. 2018 bolo zo západnej strany tunela Prešov vyrazených celkovo 323 m (STR – 125 m, JTR – 198 m). Pri razení zo západného portálu sú zastihnuté ílovcové a pieskovcové vrstvy s pevnosťou triedy R3 a R4.

Celú stavbu juhozápadného obchvatu 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 Metrostav a.s.

Slovenská tunelárska asociácia

TUNELY NA ŽELEZNIČNEJ SIETI

Tunel Diel

Tunel Diel prechádza masívom vrchu Diel ktorý tvorí centrálnu časť meandru Váhu v oblasti Nostickej priehrady.

Tunel je navrhnutý v dĺžke 1082 metrov. Razenie tunela prebieha v masíve popod kúpele Nimnica. Západný portál

tunnel tubes, The NTT and STT will be 2230.50m and 2244.00m long, respectively. There are 8 cross passages designed between the tunnel tubes to create the escape and access routes for rescue units.

The tunnel excavation proceeds from both portals with the headings moving towards each other.

The ceremonial blessing of the tunnel and fitting a statuette of St. Barbara, which was participated by representatives of the project owner and a Roman Catholic auxiliary bishop from Košice, took place on the 23rd August 2018.

Driving the tunnel from the eastern portal started on the 1st August 2018 on the northern tunnel tube, whilst the STT excavation started on the 23rd August 2018. The excavation of the portal part of the tunnel was carried out under the protection of canopy tube pre-support. The excavation sequence is divided horizontally into top heading, bench and bottom. Ground is disintegrated partly mechanically and partly using explosives.

As of 30th September 2018, 295m of the excavation have been finished from the eastern side of the Prešov tunnel in total (NTT – 198m and STT – 97m, respectively). R3 strength class sandstone with thin layers of R4 strength class rock have been encountered during the excavation from the eastern portal.

The excavation of the tunnel from the western portal also started on the 1st August 2018 on the southern tunnel tube, whilst the excavation of the NTT commenced on the 15th August 2018. In the portal section, the excavation proceeded under the protection of canopy tube pre-support. The excavation sequence is horizontal, consisting of top heading, bench and bottom; ground is disintegrated partly mechanically and partly using explosives.

As of 30th August 2018, 323m of the excavation have been finished from the western side of the Prešov tunnel in total (NTT – 125m and STT – 198m, respectively). R3 and R4 strength class claystone and sandstone layers have been encountered during the excavation from the western portal.

The entire construction of the south-western by-pass of Prešov is realised 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 carried out by Metrostav a.s.

Slovak Tunnelling Association

TUNNELS ON RAILWAY NETWORK

Diel tunnel

The Diel tunnel passes through the massif of Diel Hill, which forms the central part of the Váh River meander in the area of the Nosice Dam. The design length of the tunnel amounts to 1082 metres. The tunnel excavation proceeds through the massif under the Nimnica Spa. The western portal is located on the outskirts of the municipality of Nimnica, whilst the eastern portal will be carried out in the area of woods above the secondary road II/507, which leads from Púchov to Považská Bystrica along the right bank of the dam reservoir. The Diel tunnel will have an escape gallery, which will end in the area of the eastern portal of the tunnel.

Excavation operations in the tunnel are gradually nearing completion. Less than 100m of top heading excavation remain to the eastern portal. The geological conditions are



Obr. 4 Úniková štôľňa tunela Diel
Fig. 4 Escape gallery of the Diel tunnel

je situovaný na okraji obce Nimnica, východný portál bude situovaný v území lesa nad cestou druhej triedy II/507, ktorá vedie z Púchova do Považskej Bystrice po pravom brehu priehrady. Tunel Diel bude mať únikovú štôľňu, ktorá bude ústiť do priestoru východného portálu tunela.

Raziace práce v tuneli sa postupne blížia k záveru. V kalote chýba vyraziť menej ako 100 metrov k východnému portálu. Geologické podmienky sa striedajú, mení sa tektonika a stupeň zvetrania, jedno však ostáva nemenné, a to, že sa nachádzame v prostredí ílovcov. Boli začaté profilačné práce a razenie výklenkov. V tuneli budú čistiace výklenky



Obr. 5 Východný portál tunela Diel
Fig. 5 Eastern portal of the Diel tunnel

variable, the tectonics and the degree of weathering change, but one thing remains unchangeable that we are located in the environment formed by claystone. The tunnel profiling work and excavation of niches have started. There will be cleaning niches and combined niches containing in addition hydrants in the tunnel. The subgrade for the invert, respectively the bottom formed by continuous spread footings, are being prepared.

The excavation of the escape gallery (see Fig. 4) is in full swing. As of the 15th October 2018, 35 metres of the excavation from the eastern portal and 22m from the tunnel interior, out of the total length of 315 metres, have been finished.

At the eastern portal (see Fig. 5), the gradual excavation of the massif and the construction of the portal pit walls proceed. The walls are formed by micropiles; they are made monolithic on the top, forming a wall with architectural finish. They are strengthened during the course of the gradual excavation of the massif using reinforced concrete spreading walers anchored by cable anchors. The excavation faces of the tunnel tube and the escape gallery, ending at the eastern portal, are being gradually opened.

Milochov tunnel

A new tunnel, Milochov (see Fig. 6, 7), is designed for crossing the bottom of Stavná Hill, south of Horný Milochov, a local part of the town of Považská Bystrica. The design length of the tunnel amounts to 1861 metres. The tunnel will have one escape gallery, which will end in the municipality of Milochov.

The excavation from the western portal has been currently finished. In the construction organisation plan, driving a longer section from the western portal was not under consideration. Nevertheless, the possibility of restarting the operations from the west, thus catching up with the delayed schedule, is being checked with respect to the existing works delay. From the west, 115 metres of the top heading excavation have been finished.

The work from the eastern portal proceeds slowly but surely. The excavation of 106 metres of the top heading was successfully carried out mostly through clayey ground using an excavation sequence consisting of two parts. The operations proceed under the protection of canopy tube pre-support and the excavation face is strengthened by 16m long



Obr. 6 Tunel Milochov – ražba z východného portálu
Fig. 6 Milochov tunnel – excavation from the eastern portal

a združené výklenky, kde pribudnú hydranty. Pripravuje sa podklad pre spodné klenby, resp. dno tvorené základovými pásmi.

V plnom prúde je razenie únikovej štôlne (obr. 4). Z východného portálu je k dátumu 15. 10. 2018 vyrazených 35 metrov a z vnútra tunela 22 metrov z celkovej dĺžky 315 metrov.

Na východnom portáli (obr. 5) prebieha postupné odtážovanie masívu a realizácia stien portálovej jamy. Steny sú tvorené z mikropilót, na vrchu sú zmonolitnené do múrika s pohľadového betónu, postupným odtážovaním masívu sú spevňované roznášacími železobetónovými prahmi, ktoré sú kotvené lanovými kotvami. Postupne sa otvára čelba tunelovej rúry a čelba únikovej štôlne, ktorá ústí na východný portál tunela.

Tunel Milochov

Na preklopenie úpätia vrchu Stavná, južne od miestnej časti Horný Milochov mesta Považská Bystrica, je navrhnutý nový tunel Milochov (obr. 6, 7). Projektovaná dĺžka tunela je 1861 metrov. Tunel bude mať jednu únikovú štôľňu, ktorá bude vyúsťovať v obci Milochov.

Raziace práce zo západného portálu sú momentálne ukončené. V pláne organizácie výstavby sa neuvažovalo zo západného portálu raziť dlhší úsek, no momentálne z dôvodu meškania prác z východného portálu sa preveruje možnosť zo západu opäť spustiť práce a dobehnúť tak meškanie. Zo západu je vyrazených 115 metrov v kalote.

Práce z východného portálu postupujú pomaly, no iste. Pomocou delenej čelby v kalote na dve časti sa vyrazilo prevažne v fľovitých zeminách 106 metrov. Práce postupujú pod ochranou mikropilótového dáždnika a čelba je spevňovaná sklaminátovými kotvami dĺžky 16 m. Po zlepšení zeminového prostredia a preverení konvergencií tunelového profilu sa prešlo do triedy razenia bez delenia kaloty. V celom profile kaloty spevnenej v dne dočasnou klenbou zo zváraných sietí a striekaného betónu sa k 15. 10. 2018 podarilo zrealizovať 20 metrov. Rada monitoringu tunela na svojich pravidelných stretnutiach hodnotí a následne definuje postupy na každých ďalších 10 metrov, čo je jedna etapa pod jedným mikropilótovým dáždnikom.

V 41 kalendárnom týždni boli započaté práce na portáli únikovej štôlne, ktorý sa nachádza uprostred obce Horný Milochov. Postupuje sa odtážovaním zeminy a zabezpečovaním svahu striekaným betónom, zváranými sieťami a svorníkmi.

Celú stavbu realizuje združenie Nimnica zložené zo spoločností Dopřstav – 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.



Obr. 7 Východný portál tunela Milochov
Fig. 7 Eastern portal of the Milochov tunnel

glassfibre reinforced plastic (GRP) anchors. To improve the soil environment and check the tunnel profile convergences, the top heading excavation switched to a support class without sequencing. As of 15th October 2018, the excavation length of 20m of the whole top heading profile, reinforced at the bottom by a temporary invert from welded mesh and shotcrete, has been successfully finished. The Tunnel Monitoring Board in its regular meetings assesses and subsequently defines the procedures for every subsequent 10 metres, which is one stage of excavation under one canopy tube pre-support set.

In the 41st calendar week, the work started on the portal for the escape gallery, which is located in the centre of the municipality of Horný Milochov. The excavation of soil and stabilisation of the hill slope by shotcrete, welded mesh and bolts proceed.

The whole construction is realised by the Nimnica consortium consisting of Dopřstav – TSS Grade – SUBTERRA – EŽ Praha. The Diel tunnel is being realised by TUBAU, a. s. and the Milochov tunnel is being constructed by Subterra a. s. The general designer for the project owner, the company of Železnice Slovenskej republiky (Slovak Republic's railways), is the company of REMING CONSULT a.s.

Ing. JÁN KUŠNÍR, REMING CONSULT a.s.

Z HISTORIE PODZEMNÍCH STAVEB FROM THE HISTORY OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

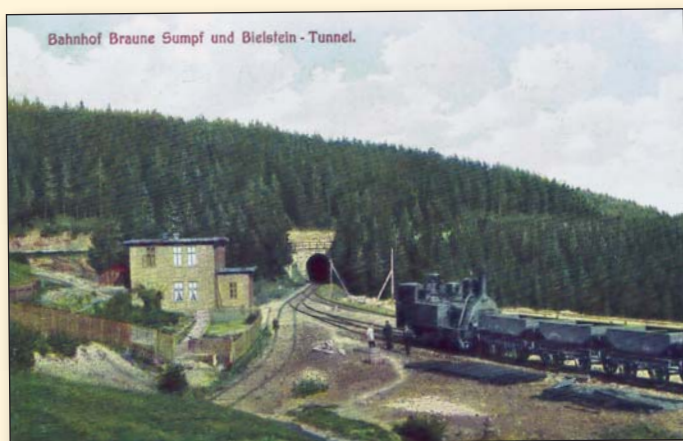
POHLEDNICE S TUNELY V NĚMECKU II PICTURE POSTCARDS WITH TUNNELS IN GERMANY II

Seven picture postcards showing tunnels in the Federal Republic of Germany were presented in TUNEL issue no 4/2016. In the current continuation of the series, we return to this important European country. This time we bring additional five picture postcards and one extraordinary postcard. In three picture postcards, we meet railway tunnels, one presents a tunnel on a mountain railway track, one picture postcard shows an extraordinary set of underground structures associated with the access to a mountain hotel built during the period of the Third Reich, and the closing postcard is reminiscent of the commencement of operation on a section of an underground railway.

V časopisu TUNEL číslo 4/2016 bylo prezentováno sedm pohlednic s tunely ve Spolkové republice Německo. V dnešním pokračování seriálu se do této významné evropské země vracíme. Tentokrát se jedná o dalších pět pohlednic a jednu mimořádnou dopisnici. Na třech pohlednicích se setkáváme s tunely železničními, na jedné se jedná o tunel na horské dráze, jedna pohlednice představuje neobyčejný soubor podzemních staveb souvisejících s přístupem k horskému hotelu postavenému v období 3. říše a závěrečná dopisnice připomíná zahájení provozu na úseku podzemní dráhy.

TUNEL BIELSTEIN

Jednokolejný tunel Bielstein, dlouhý 466 m, se nacházel v Harzském pohoří ve středním Německu. Byl postavený



Obr. 1 Nádraží Braune Sumpf a Bielstein – tunel. Harzská ozubnicová dráha. Blankenburg – Rübeland – Tanne. Oficiální pohlednice č. 5. Verlag von Rud. Stolle, Bad Harzburg. Kolorovaná fotografie. Před rokem 1900 (?). [sbírka autorů]

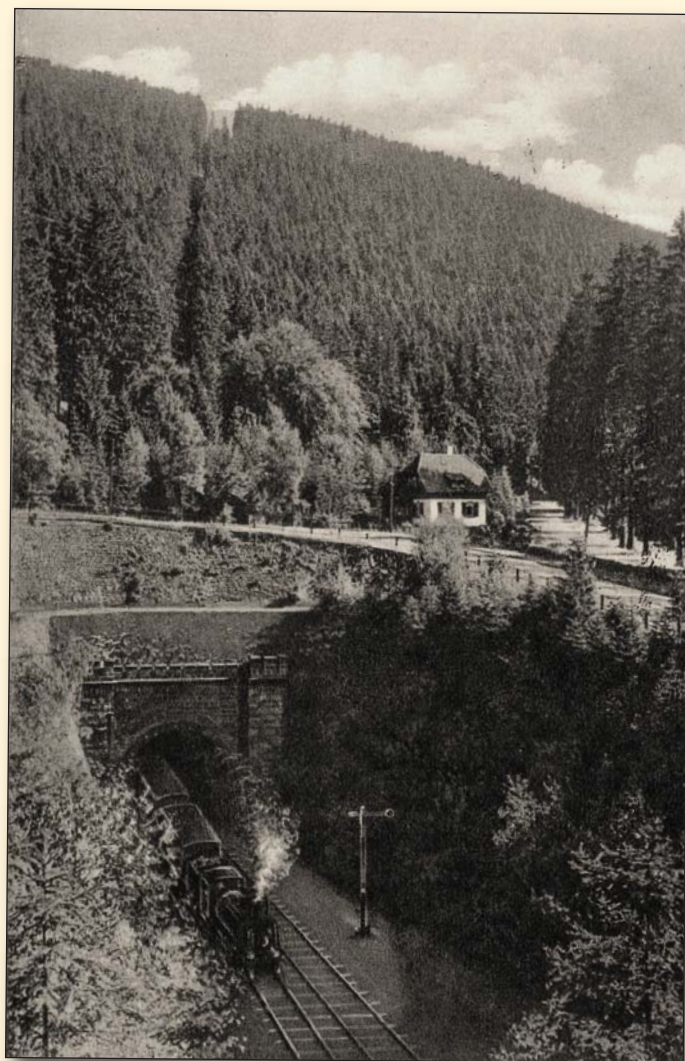
Na pohlednici je vidět původní, dnes zničený, jihozápadní portál tunelu Bielstein a již neexistující nádraží Braunesumpf.

Fig. 1 Braune Sumpf&Bielstein railway station – the tunnel. Harz rack railway. Blankenburg – Rübeland – Tanne. Official picture postcard No. 5. Verlag von Rud. Stolle, Bad Harzburg. Coloured photo. Before 1900 (?). [authors' collection]

The picture postcard shows the original, currently destroyed, southern portal of the Bielstein tunnel and the no longer existing Braunesumpf railway station.

v roce 1872 jako jeden ze čtyř tunelů původní tzv. Erzstufenbahn zřízené k přepravě železné rudy z dolů v okolí Braunesumpf do vysokých pecí v Blankenburgu. Dráha byla částečně adhezní, ve strmých úsecích používala ozubnici.

Vývojově navazující trať Rübelandbahn se počala stavět v roce 1885. V této souvislosti byl průřez tunelu rozšířený tak, aby vyhovoval potřebám pravidelné železniční dopravy. V takovém stavu sloužil až do r. 1965. Tehdy bylo nově elektrifikované traťové těleso posunuto jižně od tunelu Bielstein a ten byl, i jako průřezově nevyhovující, opuštěn. Úsek při sneseném jihozápadním portálu (obr. 1) byl zasypán odvalem z rekonstrukce trati. Severovýchodní portál byl ponechán a uzavřen betonovými deskami.



Obr. 2 Oberhof. Tunel Brandleite. Duryňsko. Vysokohorské vzdušné lázně Oberhof, 830 m n. m. 1931. [sbírka autorů]

Na pohlednici vyjíždí parní lokomotiva ze západního portálu tunelu Brandleite.

Fig. 2 Oberhof. Brandleite tunnel. Thuringia. Oberhof mountain air bath, 830 m a.s.l. 1931. [authors' collection]

In the picture postcard, a steam locomotive emerges from the Brandleite western portal.

V období vrcholící studené války se mezi obyvatelstvem šířily pověsti o vojenském využití opuštěného tunelu, nacházejícího se blízko západní hranice bývalého NDR. Skutečností je, že po znovusjednocení byla v r. 2013 zřízena chráněná přírodní lokalita „Bielstein tunel na Hüttenrode“. V dochovaném podzemním prostoru při SV portálu se vyskytují především četné druhy netopýrů. [1]

TUNEL BRANDLEITE

Dvoukolejný tunel Brandleite se nachází na železniční trati Neudietendorf – Ritschenhausen, mezi stanicemi Gehlberg a Oberhof. Jeho název je odvozený podle stejnojmenného masivu, který zde buduje část hřebene Duryňského lesa. Tunel je svou délkou 3039 m na prvním místě mezi železničními tunely nejen v Duryňsku, ale i v bývalé NDR.

Stavba byla zahájena v roce 1881 ze strany Oberhofu – obr. 2, prorážka připadla na 7. 2. 1883 a slavnostní otevření provozu proběhlo 1. 8. 1884. Zajímavostí je to, že při stavbě byla použita tzv. Belgická tunelovací metoda. V důsledku nehod zde zahynulo 5 tunelářů a asi 100 jich zemřelo na různé nemoci.

Ve 30. letech 20. stol. byla zesilována obezdívka tunelu, 2004–2005 byla během 11 měsíců provedena celková rekonstrukce a to včetně železniční trati. Asi 350 m od západního portálu křížuje tunel Brandleite ve výšce pouze 5 až 6,5 m nad jeho záklenkem nový silniční tunel Rennsteig (otevřený 2003).

Tunelem dnes velmi často projíždějí výletní vlaky tažené parní trakcí; v takových případech jde o nejdelší úsek použití páry v tunelu klasického profilu u DB. [2]

TUNEL TÖNISSTEIN V ÚDOLÍ BROHL

Úzkorozchodná trať (1000 mm) údolím Brohl (Brohlthal) vedla původně mezi Brohl na Rýnu a Kempenich v pohoří Eifel. Počátek její stavby náleží do r. 1898, zahájení provo-



Obr. 3 Viadukt a tunel se vzdáleným výhledem na Burgbrohl a Eifel, vlevo Buchholz, uprostřed Ollbrück. Verlag von A. Hürter, Brohl a. Rhein. Okolo 1910 (?). [sbírka autorů]

V centrální části pohlednice se nachází východní portál železničního tunelu Tönisstein se 120 m dlouhým stejnojmenným viaduktem. Německý termín Tönisstein je pravděpodobně místním názvem pro horninu znělec (fonolit).

Fig. 3 The viaduct and the tunnel with a remote view of Burgbrohl valley and Eifel mountain range; Buchholz pictured left, Ollbrück in the middle. Around 1910 (?) [authors' collection]

In the central part of the picture postcard there is the eastern portal of the Tönisstein tunnel with the 120m long viaduct of the same name. The German term Tönisstein is probably a local term for phonolite rock.

zu do Engeln připadlo na r. 1901 a dokončení do Kempenich o rok později. Dráha sloužila především jako nákladní, pro dopravu kamene z Eifelu k lodní překládce na Rýn. Přeprava osob hrála malou roli. Hospodářská krize a 2. světová válka vedly ke stagnaci železniční dopravy a po válce byl provoz dráhy jen obtížně obnovován. V 70. a 80. letech 20. stol. železnice upadala s tím, že trať byla zachována jen ve zkrácené délce – z původních 23,83 km na současných 17,75 km. Dnes slouží pouze pro dopravu vytěženého fonolitu a k provozu oblíbených turistických vlaků mezi Brohl na Rýnu a Engeln, známých jako tzv. Vulkan Express. Na trati se nachází jeden krátký tunel – Tönisstein, délky 95 m (obr. 3). [3]

TUNEL NA WENDELSTEINSKÉ DRÁZE

Wendelstein je turisticky mimořádně exponovanou, 1838 m n. m. vysokou, horou v bavorských Alpách. Na jejím vrcholu se nachází nejen restaurace, kaple a observatoř, ale i nejvyšší přístupná jeskyně v Německu. Pro stavbu a obsluhu zmíněných zařízení a především pro pohodlí návštěvníků byla již počátkem 20. století zřízena kolejová ozubnicová elektrická dráha, ke které v 70. letech přibyla i lanovka.

Dnes památkově chráněná zubačka, jedna z pouhých čtyř dosud v Německu provozovaných, byla vybudovaná v letech 1910–1912. Na stavbě bylo v extrémních podmínkách nasazeno až 800 pracovníků, převážně Bosňáků a Italů. Slavnostní otevření připadlo na 12. 5. 1912.

Rozchod trati činí 1000 mm, s max. sklonem 237 ‰. Původní délka trasy, vedoucí z Brannenburgu (473 m n. m.) až do horské stanice Wendelstein (1723 m n. m.), byla 9,95 km; počátkem 60. let 20. stol. byla zkrácená na dnešních 7,66 km. V letech 1987–1991 bylo zařízení dráhy zásadně modernizováno.

Na trati se nachází 12 mostů, 8 galerií a rovněž 7 tunelů, dlouhých od 16 do 119 m (celkem potom 324 m) – obr. 4. [4]



Obr. 4 Wendelstein. Výjezd z tunelu. Cramers Kunstanstalt Dortmund. Okolo 1930. [sbírka autorů]

Na pohlednici je původní vlak v tunelu. Patrně se jedná výjezdový portál nejvýše položeného tunelu č. 7, dlouhého 35 m. Pozornost si zaslouží i originální typ konstrukce zavěšení troleje. Jízdy zobrazenou historickou soupravou jsou dnes u cestujících velmi oblíbené.

Fig. 4 Wendelstein. Tunnel exit. Cramers Kunstanstalt Dortmund. Around 1930. [authors' collection]

The picture postcard shows an original train in the tunnel. It is probably the exit portal of the highest located, 35m long, tunnel No. 7. Even the original type of the overhead catenary system deserves attention. Using the historic train pictured in the postcard is currently very popular with travellers.



Obr. 5 Orlí hnízdo (Kehlsteinhaus). Čajovna (Teehaus). Kehlsteinská silnice. Tunel k výtahu. Parkoviště. Aufnahme: Anton Hafner, 8235 Piding, Panoramaweg 21. 1980 (?). [sbírka autorů]

Fig. 5 Eagle's Nest (Kehlsteinhaus). Teehaus on the Kehlstein. Kehlstein road. Tunnel to the lift. Car parking. Aufnahme: Anton Hafner, 8235 Piding, Panoramaweg 21. 1980 (?). [authors' collection]

ORLÍ HNÍZDO (KEHLSEINHAUS, TEEHAUS)

„Orlí hnízdo“ byl neoficiální název pro sídlo A. Hitlera poblíž Berchtesgaden v jižním Bavorsku. Jednalo se o rozsáhlý areál ve víceméně násilně zabrané horské vesnici Obersalzberg (cca 1000 m n. m.). Hlavní spodní budovou „Orlího hnízda“ byl Berghof (Horský dvůr) A. Hitlera.

Horní budovou „Orlího hnízda“ byl tzv. „Teehaus“ (Čajovna), který nechal k Hitlerovým 50. narozeninám postavit jeho tajemník M. Borman na vrcholu hory Kehlstein (1834 m n. m.). Jednalo se vlastně o luxusní horský hotel. Komplex staveb byl na svou dobu unikátní a technicky velmi zajímavý. Spojení k němu zajišťovala horská silnice z Obersalzbergu, široká 4 m, překonávající na trase 6,5 km 700 výškových metrů. Nachází se na ní pět tunelů celkové délky 277 m. Z parkoviště je přístup do hotelu zajištěný vjezdovým tunelem dlouhým 124 m (obr. 5) a luxusním výtahem pro 12 osob v šachtě hluboké rovněž 124 m. Celý soubor staveb přitom vznikl za pouhých 13 měsíců v letech 1937–1938 a přišel na mimořádných 30 mil. RM (v dnešním ekvivalentu cca 120 mil. €). Poněkud kuriózní je to, že „Teehaus“ navštívil A. H. snad pouze 2x, ne však více než 10x. To pro své obavy z jízdy výtahem a pro fobie z řídkého vzduchu a zasažení bleskem...

Koncem 2. světové války a těsně po ní byla dolní část areálu spojenci prakticky kompletně zničena, horský hotel však



Obr. 6 Mimořádná oficiální dopisnice. Prezence podzemní dráhy. Dokončení linky 8/1 podzemní dráhy. 18. 10. 1980. [sbírka autorů]
Za pozornost stojí, mimo jiné, i příležitostné razítko „Zahajovacího ceremoniálu“.

Fig. 6 Extraordinary official postcard. Presentation of the underground railway. Completion of 8/1 line of the underground railway. 18/10/1980. [authors' collection]

Among others, even the special postmark for the “Opening Ceremony” is worth of the attention.

zůstal zachován a dnes je považovaný za turisticky velmi atraktivní místo. [5]

MNICHOV – U-BAHN

Mnichovská podzemní dráha má v současnosti 100 zastávek a délku 103,1 km. Jednou z jejích 8 linek je i linka U2, během výstavby ještě označená jako U8, později přečíslovaná. Její stavba započala v r. 1971 a vůbec první úsek mezi Scheidplatz a Innsbruck Ring byl otevřen pro veřejnost 18. 10. 1980 (obr. 6). Rozhodující metráž tunelů byla prováděna s nasazením mechanizovaného štítu. Do roku 2004 byla trasa U2 ještě 8x prodloužena. V současnosti se její další rozšíření již neplánuje.

V roce 1994 došlo na této lince při stavebních pracích k mediálně velmi známému neštěstí. Strop nově dokončeného tunelu se vlivem proudící vody propadl a do vzniklé poklesové muldy vjel autobus. Zahynuli přitom 2 dělníci a 2 pasažéři autobusu. [6]

doc. Ing. VLADISLAV HORÁK, CSc.,
Ing. RICHARD SVOBODA, Ph.D.,
Ing. MARTIN ZÁVACKÝ

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Der Bielsteintunnel [online]. [cit. 2018-08-15]. Dostupné na internetu <<https://www.harzlife.de/untertage/bielsteintunnel.html>>
- [2] Brandleite Tunnel [online]. [cit. 2018-08-15]. Dostupné na internetu <https://en.wikipedia.org/wiki/Brandleite_Tunnel>
- [3] Brohltalbahn [online]. [cit. 2018-08-15]. Dostupné na internetu <<https://de.wikipedia.org/wiki/Brohltalbahn>>
- [4] Wendelsteinbahn [online]. [cit. 2018-08-15]. Dostupné na internetu <<https://de.wikipedia.org/wiki/Wendelsteinbahn>>
- [5] Orlí hnízdo [online]. [cit. 2018-08-15]. Dostupné na internetu <https://cs.wikipedia.org/wiki/Orlí_hnízdo>
- [6] U-Bahn München [online]. [cit. 2018-08-15]. Dostupné na internetu <https://de.wikipedia.org/wiki/U-Bahn_München>

Poděkování: Příspěvek byl vypracován s finanční pomocí EU „OP Výzkum a vývoj pro inovace“, projekt reg. č. CZ.1.05/2.1.00/03.0097, v rámci činnosti regionálního centra AdMaS „Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie“ a programu Centra kompetence Technologické agentury České republiky (TAČR) v rámci projektu Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI), číslo projektu TE01020168.

VÝROČÍ / ANNIVERSARIES

TŘI ROKY SPOLEHLIVÉHO PROVOZU TUNELOVÉHO KOMPLEXU BLANKA THREE YEARS OF RELIABLE OPERATION OF THE BLANKA COMPLEX OF TUNNELS

The Blanka complex of tunnels consisting of the Brusnice, Dejvice and Bubeneč tunnels, was opened to traffic on Saturday the 19th September 2015. During three years, over 100 million vehicles passed through the tunnel. During this period, the TSK, a.s., and SATRA spol. s r.o. monitored the structural condition and traffic in the tunnel in terms of the construction and the tunnel equipment, verified the operational and fire safety or assessed the impact on traffic and environment.

Tunelový komplex Blanka (TKB), skládající se z Brusnického, Dejvického a Bubenečského tunelu, byl uveden do zkušebního provozu v sobotu 19. září 2015. Za tři roky projelo tunelem více než 100 milionů vozidel. Během té doby TSK, a.s., a SATRA spol. s r.o. sledovaly stav a provoz v tunelu po stránce stavební i technologické, ověřovaly provozní a požární bezpečnost či hodnotily dopad na dopravu a životní prostředí.

V rámci zkušebního provozu **nebyly doposud shledány žádné zásadní komplikace** ve stavební ani technologické části tunelů, nastalé drobné problémy byly neprodleně vyřešeny. Kromě mediálně známého případu tvorby rampouchů ve vjezdové části hloubeného úseku Bubenečského tunelu byly řešeny pouze tyto významnější problémy:

- **nesprávná funkce úsekového měření:** po odstranění závady v dubnu 2016 již systém pracuje správně, denně překročí maximální povolenou rychlost přibližně 2000 řidičů, z toho většina ve směru Troja (vliv klesání);
- **poškození závor:** i přes skutečnost, že vjezd do tunelu je zakázán proměnným dopravním značením, včetně blízkých výstražných světel červené barvy, soustavně dochází k poškození závor řidiči, kteří se zjevně řádně nevěnují řízení vozidla;
- **porucha přenosového systému:** dne 10. 4. 2018 cca v 18:19 hod. došlo k poruše páteřního přenosového systému (technologické datové sítě) v TKB, v jejímž důsledku nastal výpadek souboru videodohledu, videodetekce a komunikace mezi SOS hláskami v tunelu a velíny. Po odstranění závady byla přijata preventivní opatření, která eliminují pravděpodobnost výskytu příčiny spočívající v závadě na softwarovém řešení dodaného komunikačního zařízení.

Z hlediska stavební a technologické části lze konstatovat, že všechny stavební objekty a provozní soubory fungují správně podle předpokladů projektu a stav v tunelech umožňuje bezpečný provoz. Pravidelná údržba je realizována v předem naplánovaných a úředně povolených nočních uzávěrách, resp. v přístupných prostorech v průběhu běžné pracovní doby.

DOPRAVA V TUNELECH

Provoz je dlouhodobě ustálený a bezpečný. Lze konstatovat, že doprava v tunelech, i s ohledem na roční variace intenzit vykazuje trvale mírně rostoucí tendenci (viz tabulka).

Délka zkušebního provozu	3 roky
počet vozidel, která použila tunely	přes 100 000 000
první milion vozidel	3. 10. 2015
maximální denní intenzita	94 700 (Brusnický tunel 28. 3. 2018)
minimální denní intenzita	21 000 (Bubenečský tunel 1. 1. 2016)
dopravní nehody se zraněním	13
dopravní nehody	242
zastavení vozidla pro nedostatek PHM	166
kuriózní zastavení vozidla	- 19. 11. 2015 řidič zjistil, že mu v tunelu nefunguje navigace a telefonoval o radu výrobci
trestuhodné chování	- 21. 12. 2015 vstoupily do prostoru Brusnického tunelu dvě chodkyně s kočárkem! - zastavování motocyklistů před výjezdem z tunelu při dešti! - nedodržování bezpečné vzdálenosti pro zastavení vozidla! - nesledování proměnného dopravního značení!

DOPRAVA NA POVRCHU

TSK hlavního města Prahy průběžně monitoruje počty projíždějících vozidel na vybraných významných charakteristických profilech komunikací v Praze (místa vybavená automatickými zařízeními pro trvalé sčítání projíždějících automobilů). Ve vybraných profilech, kde není tato technologie k dispozici, byla provedena individuální měření.

Aktuální stav lze charakterizovat takto:

- na komunikacích, které napojují tunely (Městský okruh na povrchovou komunikační síť (V Holešovičkách, Patočkova, Dobříšská, Svatovítská) došlo k očekávanému nárůstu dopravy a nyní je stav stabilizovaný;
- tam, kde došlo po zprovoznění ke snížení intenzit dopravy (Milady Horákové, Veletržní, Argentinská, apod.), je stav stabilizovaný a nedošlo k opětovnému nárůstu intenzit;
- lokální změny intenzit jsou způsobené již dalšími úpravami na povrchové komunikační síti (opravy a rekonstrukce komunikací v Praze).

V místech s většími kongescemi dopravy jsou na základě výsledků dopravních průzkumů prověřovány změny dopravního řešení. Jedná se aktuálně zejména o realizaci dvoupruhové rampy napojující ulici Povltavská na most Barikádníků pro odstranění kongescí v ulici Nová Povltavská (důvod regulací tunelů ve směru Troja) a prověřování úprav (ve spolupráci s FD ČVUT) na Barrandovském mostě pro odstranění kongescí v ulici Dobříšská (důvod regulací ve směru Strahovský tunel).

BEZPEČNOST V TUNELECH

Provoz v tunelech je neustále monitorován pomocí zejména automatického dohledu (přímo vyhodnocováno řídicím systémem tunelu) a kamerového dohledu pod kontrolou dispečera dopravy a operátora technologie. V reálných časech jsou tak zjišťovány a vyhodnocovány skutečné podmínky v tunelech.

Nejvýznamnějším problémem z hlediska bezpečnosti bylo zpočátku otáčení vozidel do protisměru v blízkosti křižovatky Malovanka. Změna režimu oproti předcházejícímu stavu způsobovala, že někteří řidiči omylem vjeli do Brusnického tunelu a tam se snažili v rozpletu otočit do opačného směru a pokračovat směrem ke Strahovskému tunelu. Pro zlepšení orientace bylo v prostoru křižovatky instalováno vodorovné dopravní značení s uvedením místních cílů (Troja, Smíchov). To vedlo k významnému úbytku těchto případů.

Bezpečnost v tunelech a akceschopnost jednotek IZS při zásahu byla prověřována v rámci čtyř prověřovacích a taktických cvičení.

VLIV NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Vliv stavby na životní prostředí je monitorován v souladu s dokumentací a podmínkami rozhodnutí o povolení zkušebního provozu. Na základě výsledků jednání s Městskou hygienickou stanicí a odborem ochrany prostředí Magistrátu hlavního města Prahy (OOP MHMP) je z hlediska hluku monitorováno celkem 33 míst (noční a denní měření), z hlediska imisí 8 míst.

V případě imisních měření znečišťujících látek v ovzduší se aktuálně zpracovává numerický model, na jehož základě bude možné doložit plnění příslušných limitů. Všechny výsledky měření intenzit, hluku, imisí a aktuality jsou veřejnosti v maximálně možném rozsahu zpřístupňovány prostřednictvím tohoto webu.

Z naměřených hodnot ekvivalentní hladiny akustického tlaku v roce 2015 a 2017 je zřejmé, že na většině měřených míst (42 míst) došlo vlivem zprovoznění tunelového komplexu Blanka ke snížení hlukové zátěže.

Na místech, kde došlo ke zvýšení hlukové zátěže, se ve většině případů (16 míst) nárůst hladiny hluku projevil změnou do 0,9 dB včetně. Toto je považováno za nehodnotitelnou změnu v souladu s Nařízením vlády č. 272/2011 Sb., ve znění



Obr. 1 Provoz v Tunelovém komplexu Blanka

Fig. 1 Traffic in the Blanka complex of tunnels

pozdějších předpisů. U míst, kde došlo k nárůstu o více než 0,9 dB (8 míst) se výsledné hodnoty po zprovoznění TKB pohybovaly pod limitními hodnotami pro dané místo měření, anebo pod limitními hodnotami stanovenými v rámci vydaného časově omezeného povolení k provozování nadlimitního zdroje hluku.

ZÁVĚR

Závěrem lze konstatovat, že dosavadní zkušební provoz severozápadní části Městského okruhu v Praze s TKB prokázal, že stavba v celém rozsahu plní svou očekávanou funkci jak z hlediska dopravních očekávání, tak i z hlediska provozních vlastností jednotlivých prvků stavby. Takřka bezporuchový provoz za první tři roky provozu dokládá využití správných návrhových i realizačních postupů spolu s využitím vhodných materiálů a zařízení. To ovšem neznamená, že TKB není studnicí zkušeností, co a jak na dalších obdobných projektech dělat v budoucnu jinak, třeba i lépe.

Zcela zásadním výstupem vyhodnocení účinků této stavby je pak nezbytnost celý nadřazený systém komunikační sítě hlavního města Prahy dobudovat, a to co nejdříve!

JAKUB KARLÍČEK, SATRA, spol. s r.o.

ZPRAVODAJSTVÍ ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE ITA-AITES CZECH TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES REPORT

www.ita-aites.cz

KONFERENCE PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2019 UNDERGROUND CONSTRUCTION PRAGUE 2019 CONFERENCE

The 14th international conference Underground Construction Prague 2019 will be held from 3rd to 5th June 2019 in the premises of Clarion hotel (similarly to the years 2010, 2013 and 2016). The conference gala dinner will be held in the environment of the Brevnov monastery. The conference has got support from the ITA-AITES Endorsement and support from other organisations (ISSMGE, ISRM). The total of

176 abstracts from 32 countries has been registered for the conference. A third of the registered abstracts is from the Czech Republic, the other registered abstracts are mostly from European countries, but also from many countries out of Europe. The key lectures will be delivered by renowned foreign experts, such as Prof. Wulf Schubert, Prof. Robert Galler, Prof. Konrad Bergmeister, Bernhard Kohl (all from Austria),

Prof. Bai Yun from China, Martin Knights from United Kingdom, Prof. Pellet Frederic from France, Dr. Vojtech Gall from the USA, Dr. Davorin Kolic from Croatia, Prof. Shahab Yasrobi from Iran and Ioannis Bakogiannis from Grece. All information on the conference is available on web pages www.ucprague.com. The timely registration of conference attendees at a reduced fee will be terminated on 31st January 2019. Subsequently it will be possible to use the standard registration. We are looking forward to your participation.

Příprava 14. mezinárodní konference Podzemní stavby Praha 2019 pokračuje podle plánu. Konference se uskuteční ve dnech 3. až 5. června 2019 v prostorách hotelu Clarion (obdobně jako v letech 2010, 2013 a 2016). Do přípravy konference byla zapojena řada českých i zahraničních odborníků (členové přípravného výboru a vědecké rady). Společenský večer se opět bude konat v prostředí Břevnovského kláštera. Obdobně jako v minulosti s přípravou asistuje společnost Guarant International spol. s r. o. Konference opět získala podporu světové tunelářské asociace (ITA-AITES Endorsement), dále také podporu organizací ISSMGE (International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering) a ISRM (International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering).

Na konferenci bylo přihlášeno 176 abstraktů z 32 zemí. Přibližně třetina přihlášených abstraktů je z ČR (67 abstraktů), ostatní přihlášené abstrakty jsou převážně z evropských zemí, ale i z řady mimoevropských zemí (např. Alžírsko, Argentina, Čína, Ghana, Hongkong, Indie, Irák, Írán, Katar, Pákistán, Singapur, USA, atd.). Výsledný počet přihlášených abstraktů je o trochu nižší oproti konferencím v minulých

letech (2010 bylo 217 abstraktů, 2013 bylo 178 abstraktů a 2016 bylo 225 abstraktů).

V současné době probíhá upřesňování klíčových a vyzvaných přednášek, dané přednášky přednesou renomovaní zahraniční odborníci jako prof. Wulf Schubert, prof. Robert Galler, prof. Konrad Bergmeister, Bernhard Kohl (všichni z Rakouska), prof. Bai Yun z Číny, Martin Knights ze Spojeného království, prof. Pellet Frederic z Francie, Dr. Vojtech Gall z USA, Dr. Davorin Kolic z Chorvatska, prof. Shahab Yasrobi z Íránu, Ioannis Bakogiannis z Řecka atd.

V neděli 2. června 2019 (tj. den před konferencí) bude uspořádán jednodenní kurz určený pro pracovníky s kratší praxí v oboru (mladí inženýři, doktorandi, atd.). Tématem kurzu bude „Členění nejistotám při přípravě a realizaci tunelových staveb“. Rozsah kurzu bude 8–10 přednášek, které budou předneseny převážně odborníky z CzTA, dvě přednášky budou předneseny zahraničními lektory (prof. Bai Yun z Číny a prof. Shahab Yasrobi z Íránu). Na kurz je třeba se s předstihem zaregistrovat (nesouvisí s registrací na konferenci), kapacita sálu je omezená.

Veškeré informace o konferenci jsou dostupné na webových stránkách www.psp Praha.cz (česky) a www.ucprague.com (anglicky). **Včasná registrace účastníků konference za snížený poplatek bude ukončena 31. 1. 2019, následně bude možné využít standardní registraci.** Těšíme se na Vaši účast.

*prof. Ing. MATOUŠ HILAR, Ph.D., hilar@3-g.cz
předseda vědecké rady konference PS 2019*

ZPRÁVA Z ODBORNÉHO ZÁJEZDU ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE DO ŠVÉDSKA VE DNECH 3. AŽ 6. ŘÍJNA 2018

REPORT FROM TECHNICAL EXCURSION OF THE CZECH TUNNELLING ASSOCIATION TO SWEDEN ON 3RD THROUGH TO 6TH OCTOBER 2018

This year's technical tour headed to Stockholm, Sweden. The technical content of the tour was formed by an excursion to the construction site of the Stockholm bypass road (E4 The Stockholm bypass Project). The bypass will divert traffic from the E4 road outside the city centre, west of the city. The length of the route amounts to 21km; 18km of this length run through tunnels (2 tubes, each with 3 traffic lanes). In addition, 14km of access ramps must be added to the 18km of the triple-lane tunnels. Trafikverket (The Swedish Transport Administration), a Swedish public investor, is the developer. The total costs of the project amount to SEK 34 milliard, equal approximately to EUR 3.4 milliard. The project is divided into 6 sections. The FSE209 Skärholmen Tunnel section is carried out by the Czech company of Subterra, respectively its Swedish daughter company, SBT Sverige AB. This part of the route comprises two three-lane tunnels, 4km long each, access ramps and tunnels at the length of 4.3km and underground caverns for technical equipment. Tunnel cross passages are carried out every 100m. The excavated area varies from 70m² to 230m². The tunnels are being driven using the Drill&Blast method; the excavation face is divided either horizontally (top heading, bench and invert sequence) or vertically (side drifts and central pillar sequence), depending on the excavation support class. The project and

even the Trafikverket company were introduced within the framework of the excursion, first in the Trafikverket information centre. Subsequently, all trip participants descended in groups into the Skärholmen tunnel. The excursion was perfectly prepared and organised by Subterra employees, so there was even time for discussion after ascending from the underground.

Tentokrát nás odborný zájezd zavedl do švédského Stockholmu. Poprvé byla zvolena letecká přeprava a přes počáteční obavy se ukázalo, že to byl dobrý nápad.

Odbornou náplň zájezdu tvořila exkurze na stavbu stockholmského silničního obchvatu (E4 The Stockholm bypass Project, <https://www.trafikverket.se/en/startpage/projects/Road-construction-projects/the-stockholm-bypass/>). Obchvat převede dopravu ze silnice E4 mimo centrum západně od města.

Délka trasy činí 21 km, z toho 18 km je vedeno v tunelech (2 tubusy, každý se 3 jízdními pruhy). K 18 km třípruhových tunelů je potřeba přičíst 14 km přístupových ramp, obr. 1.

Stavebníkem je švédský veřejný investor Trafikverket. Tato instituce je odpovědná za dlouhodobý rozvoj dopravní infrastruktury a za výstavbu a provoz silniční a železniční dopravní sítě. Celkové náklady

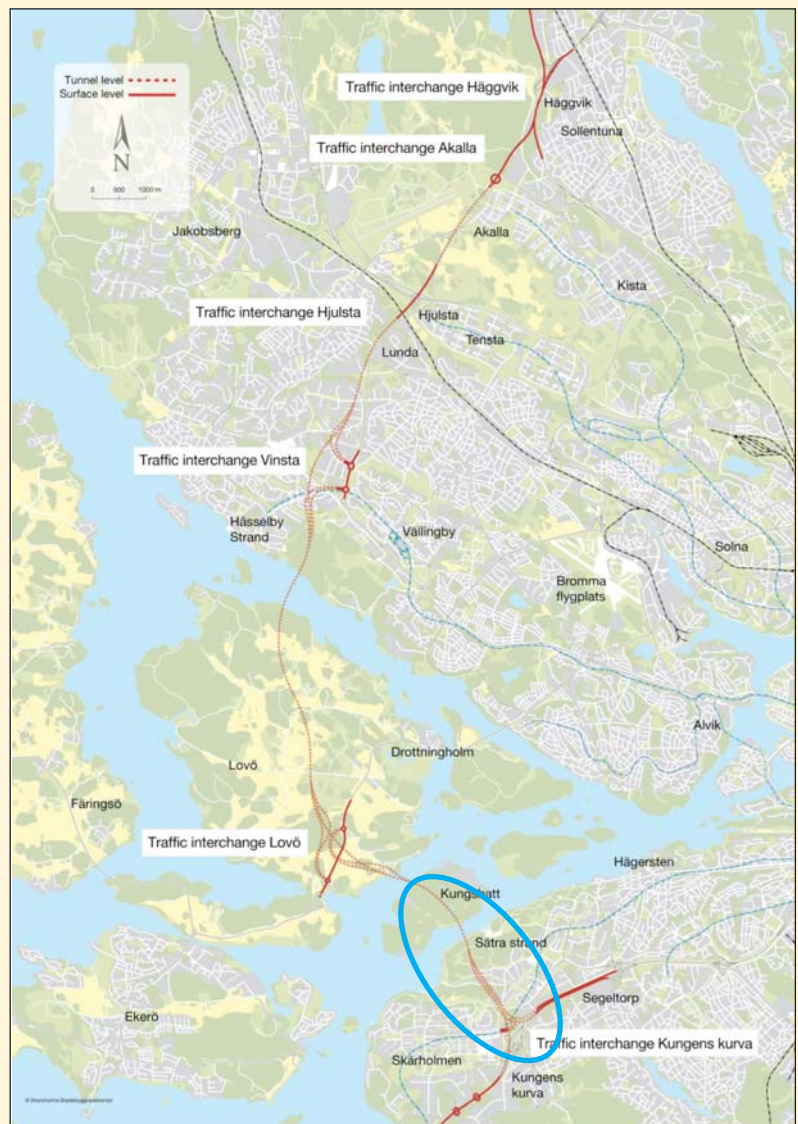
stavby činí (aktuálně) 34 miliard SEK, což je asi 3,4 miliardy EUR. Drtivá většina nákladů je hrazena švédskou královskou pokladnou, malá část nákladů je financována z fondů Evropské unie.

Stavebník začal přípravu stavby na začátku tisíciletí (studie proveditelnosti z roku 2001). Předběžný projekt byl hotov v roce 2005. Stavební práce byly zahájeny v roce 2015 a uvedení celé stavby do provozu se předpokládá v roce 2025.

Investor je smluvně plně odpovědný za geologické/geo-technické podmínky, disponuje dostatečným počtem odborně erudovaných vlastních zaměstnanců nebo konzultantů, s jejichž pomocí stavbu řídí.

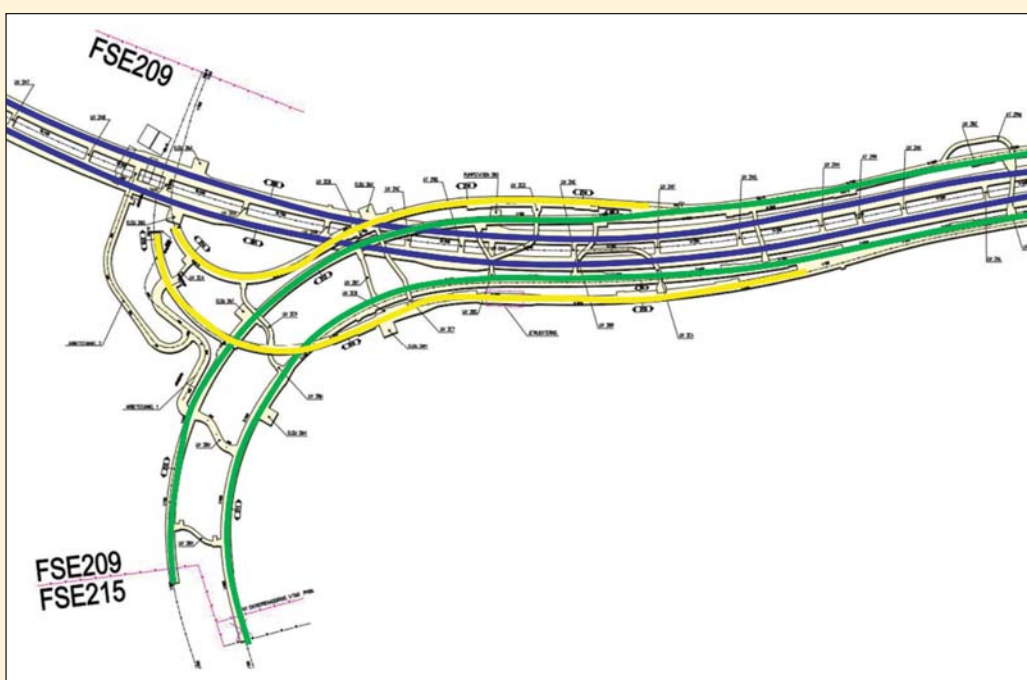
Dílo je rozděleno na šest úseků, z nichž úsek FSE209 Tunel Skärholmen provádí česká Subterra, respektive její švédská dceřiná společnost SBT Sverige AB. Tuto část trasy tvoří dva třípruhové tunely, každý v délce 4 km, přístupové rampy a tunely v délce 4,3 km a podzemní kaverny pro technologické vybavení. Tunelové propojky jsou budovány po 100 m. Plocha výrubu se pohybuje od 70 do 230 m².

Ražby probíhají metodou Drill&Blast, výrub je členěn horizontálně či vertikálně podle technologické třídy. Zařizování výrubu do technologických tříd se děje pomocí Q systému (http://www.rockmass.net/files/short_on_Q-system.pdf). Zařizování do technologických tříd provádí geolog stavebníka. Trasa prochází převážně žulovým horninovým masivem pod hladinou podzemní vody. V části úseku tunely podcházejí jezero. Horninové prostředí není homogenní, proto jsou prováděna předstihová opatření pro zvýšení bezpečnosti ražeb – mikropilotové deštníky podle potřeby a systematická horninová injektáž pro minimalizaci přítoků podzemní vody. Účinnost injektáží je ověřována vodními tlakovými zkouškami ve vrtech provedených do čelby (v úseku pod jezerem v každém záběru). Primární ostění je tvořeno svorníky, svařovanými sítěmi a stříkaným betonem (podle technologické třídy). Následně jsou do primárního ostění



Obr. 1 Schéma trasy, modrý ovál označuje úsek realizovaný Subterrou

Fig. 1 Route chart, the blue oval marks the section carried out by Subterra

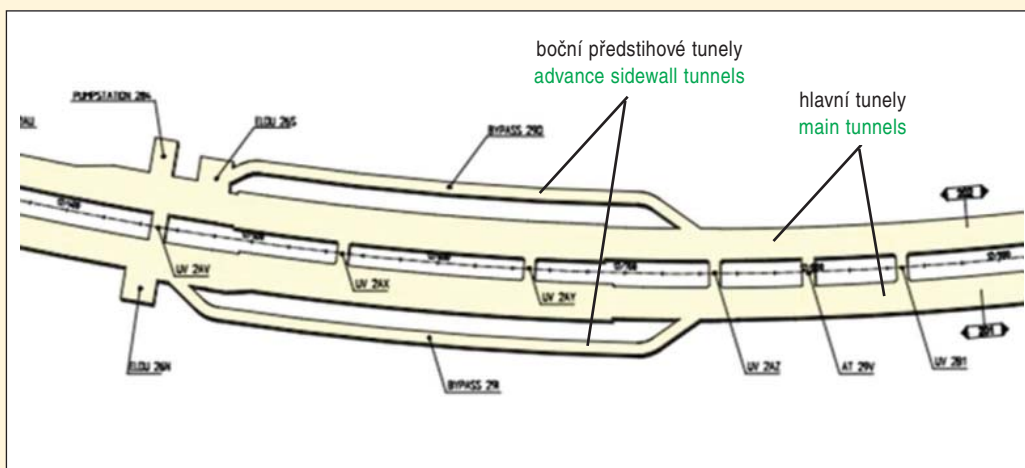


Obr. 2 Část trasy úseku FSE209, žlutě jsou označeny přístupové tunely, modře hlavní tunely, zeleně přístupové rampy
Fig. 2 Part of the route of the FSE209 section; access tunnels marked yellow, main tunnels marked blue, access ramps marked green

instalovány kotvy, na něž se uchyťtí fóliová izolace (s mezerou cca 200 mm mezi lícem primárního ostění a fólií). Potom jsou do tunelu vestaveny betonové prefabriko- vané stěnové elementy, na ně se osadí svařované sítě a následuje vrstva stříkaného betonu. Tím je ostění tunelu dokončeno.

Cena díla Subterry je (aktuálně) přibližně 1,74 miliardy SEK, tj. cca 174 milionů EUR. Předpokládaná doba výstavby je 5 let (2017–2022). Jedná se o měřený kontrakt, ale na některých stavebních objektech jsou aplikovány i prvky kontraktů typu Design-Build nebo Cost plus fixed fee. Subterra je hodnocena jako jeden ze dvou nejlepších zhotovitelů obchvatu, což ucho českého tuneláře potěší.

V rámci exkurze nejprve paní Maria Bergman z Trafikverketu



Obr. 3 Úsek pod jezerem – hlavní tunely a boční předstihové tunely
Fig. 3 Section under the lake – main tunnels and advance sidewall tunnels

v informačním středisku představila nejen stavbu, ale i samotný Trafikverket (organizace má 6800 zaměstnanců, v roce 2016 činily



Obr. 4 Příklad čelby, v popředí vrtná souprava Casagrande PG185 (vzdálenost patek cca 6 m) pro provádění mikropilotového deštníku
Fig. 4 Example of excavation face; in the foreground Casagrande PG185 drill rig (distance between footings ca 6m) for installation of canopy tube pre-support



Obr. 5 Účastníci zájezdu
Fig. 5 Participants of the trip

investice do jím budované infrastruktury 23,5 miliardy SEK, tj. asi 2,35 miliardy EUR). Potom proběhlo školení z BOZP, bez něhož by Trafikverket vstup na stavbu neumožnil.

Následně všichni účastníci zájezdu po skupinách zřáli do tunelu Skärholmen. Pracovníci Subterra exkurzi perfektně připravili a zorganizovali, takže po vyfáření zbyl i čas na diskusi, což přišlo vhod, protože otázek bylo dost.

Pro představu, jaké bludiště razíči Subterra budují, je na obr. 2 uvedena část půdorysu úseku FSE209.

Na opačném konci tohoto úseku se čelby hlavních tunelů blíží pod jezero, kde se očekává poruchová zóna. Proto projektant stavebníka v součinnosti se zhotovitelem navrhl změnu projektu – profarání tohoto úseku nejprve pomocí 2 bočních tunelů, obr. 3. Boční tunely jsou raženy v předstihu před hlavními tunely a poskytnou informace o horninovém prostředí pod jezerem v místě očekávané poruchy. Následně bude možno bočními tunely obsluhovat čelby hlavních tunelů za tímto problematickým úsekem (a současně se dokončí ražba hlavních tunelů pod jezerem). Tímto opatřením se doba výstavby značně urychlí.

Čtenáři mohou najít další informace o stavbě i v přednášce Tomáše Němečka (Subterra, a.s.) z Tunelářského odpoledne 2/2018 (<https://www.ita-aies.cz/files/Seminare/2018/nemecek-skarholmen.pdf>).

Kromě popisu odborného programu zájezdu je potřeba zaznamenat i několik kulturních postřehů. Za zmínku stojí, že nejnavštěvovanějším švédským muzeem je muzeum lodě Vasa ve Stockholmu – Švédci se tu chlubí vrakem lodi, která se jím potopila, jen co v přístavu vytáhla kotvy, tzn., že vlastně šlo o fiasko. Nápoje s obsahem alkoholu nad 3,5 % lze zakoupit pouze v pobočkách speciálního státního obchodu. Jedna z tras stockholmského metra je umístěna tak hluboko v žulovém masivu, že ostění je tvořeno jen stříkaným betonem a místy ani beton není.

A konečně snad všichni účastníci zájezdu marně pátrali po něčem, s čím by Švédci nebyli spokojeni. Během krátké doby, kterou ve Stockholmu strávili, se totiž zdálo, že město je klidné, nikdo netroubí, nespěchá, obchody a provozovny jsou poloprázdné a všichni vypadají náramně spokojeně. Pro násince je nepříjemné především drahé pivo a také absence pisoárů na pánských záchodech. A na stavbě se před kolegou či zákazníkem neschováte ani na čelbě, protože i tam je signál a rychlý internet.

Závěrem autor za účastníky zájezdu děkuje všem pracovníkům společnosti Subterra a.s., kteří přípravu a organizaci vydařené exkurze zajistili.

Zdař Bůh na příštím odborném tunelářském zájezdu.

TOMÁŠ EBERMANN, člen redakční rady

Vážené čtenářky, vážení čtenáři,

číslo časopisu, které máte právě v ruce, obsahuje oproti zvyklostem a dlouhé tradici jen čtyři recenzované články. Velmi nás to mrzí, ale byli jsme nuceni vydat časopis s menším rozsahem, protože společnost Mott MacDonald, která je číslo částečně věnováno, nedostala na poslední chvíli svolení pro publikaci dvou ze tří připravovaných článků. Je neobvyklé, že investoři nesouhlasili s představením svých velmi zajímavých projektů. Zařazení náhradních článků již nebylo možné pro nedostatek času. Přejeme Vám příjemně strávený čas i nad útlejším časopisem Tunel, klidné zakončení tohoto roku a do roku 2019 zdraví, pohodu a pracovní úspěchy.

Redakční rada časopisu Tunel



14. MEZINÁRODNÍ KONFERENCE PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2019

3.–5. 6. 2019 | PRAHA, ČESKÁ REPUBLIKA

www.ps2019.cz | ps2019@guarant.cz



ASSOCIATION
INTERNATIONALE DES TUNNELS
ET DE L'ESPACE SOUTERRAIN

AITES

ITA

INTERNATIONAL TUNNELLING
AND UNDERGROUND SPACE
ASSOCIATION

ČESKÁ TUNELÁŘSKÁ
ASOCIACE
ITA-AITES
CZECH TUNNELLING
ASSOCIATION
ITA-AITES





VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

FAKULTA
STAVEBNÍ



FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEOTECHNIKY

Laboratorní testování zemín, zkoušení hornin,
pokročilé modelování PLAXIS 3D,
stabilita sesuvných území

STAVEBNÍ INŽENÝRSTVÍ

CIVIL ENGINEERING

GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

GEODESY AND CARTOGRAPHY

MĚSTSKÉ INŽENÝRSTVÍ

MUNICIPAL ENGINEERING

ARCHITEKTURA POZEMNÍCH STAVEB

ARCHITECTURE OF BUILDING CONSTRUCTION

STUDIJNÍ PROGRAMY

STUDY PROGRAMMES



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Veveří 331/95, 602 00 Brno

Česká republika



www.fce.vutbr.cz



www.stavarnabrno.cz



+420 541 149 912



info@fce.vutbr.cz



@VUT.FAST



@Skas.FAST



@fastvut



#fastvut