

# Tu nel

č. 1  
2020

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





# SÚRAO

SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ  
RADIOAKTIVNÍCH  
ODPADŮ



**Naším úkolem je zajišťovat bezpečné ukládání radioaktivních odpadů, dosud vyprodukovaných i budoucích, v souladu s požadavky na jadernou bezpečnost, radiační ochranu člověka a ochranu životního prostředí. Provozujeme úložiště radioaktivních odpadů, koordinujeme přípravy na výstavbu hlubinného úložiště a kontrolujeme, zda odpady k uložení splňují normy stanovené Státním úřadem pro jadernou bezpečnost. Staráme se o bezpečnou budoucnost.**

Hlubinné úložiště je sofistikované technologické zařízení, kde má být natrvalo uloženo vyhořelé palivo z jaderných reaktorů a v menší míře také vysokoaktivní odpady vznikající v jaderné energetice, průmyslu, výzkumu a zdravotnictví. V České republice se počítá s jeho umístěním ve vhodném krystalinickém masívu zhruba 500 metrů pod zemským povrchem. Zahájení výstavby se plánuje od roku 2050 a zahájení provozu se dle Konceptce předpokládá od roku 2065. Do té doby budou pokračovat již započaté výzkumné, průzkumné a projektové práce a také dialog s veřejností, související s vyhledáváním vhodné lokality pro umístění úložiště a s přípravou jeho výstavby.

Mezi další činnosti Správy úložišť radioaktivních odpadů patří zajišťování provozu úložišť nízké a středněaktivních odpadů. Spravujeme všechna úložiště radioaktivních odpadů v ČR:

- úložiště institucionálních odpadů Richard u Litoměřic;
- úložiště Dukovany, určené k ukládání provozních odpadů z jaderné energetiky;
- úložiště Bratrství, určené k ukládání nízké a středněaktivních odpadů s obsahem přírodních radionuklidů.

Kromě toho monitorujeme vliv úložišť na okolí, vedeme evidenci převzatých radioaktivních odpadů a jejich původců. V neposlední řadě koordinujeme výzkum a vývoj v oblasti nakládání s radioaktivními odpady, jejich nedílnou součástí je také úzká vědecko-výzkumná spolupráce a výměna informací na mezinárodní úrovni.



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

## Obsah

<b>Editorial:</b>	
doc. Ing. Richard Šňupárek, CSc., člen redakční rady	1
<b>Úvodníky:</b>	
Ing. Martin Höfler, ředitel a předseda představenstva PUDIS a.s.	2
JUDr. Jan Prachař, ředitel SÚRAO	3
<b>Dokončení městského okruhu v Praze</b>	
Ing. Pavel Šourek, SATRA, spol. s r.o., Ing. Aleš Merta, PUDIS a.s., Ing. Lukáš Grünwald, SATRA, spol. s r.o.	4
<b>Geotechnický monitoring na stavbě bezbariérového zřístupnění stanice metra Karlovo náměstí</b>	
RNDr. Radovan Chmelář, Ph.D., Mgr. Pavel Tůma, PUDIS a.s., Ing. Tomáš Mikolášek, Ing. Michaela Gubaniová, GeoTec-GS, a.s.	17
<b>Přeložka Radlického potoka v Praze – projekt, inženýrskogeologický průzkum</b>	
Ing. Richard Kuk, Pavel Bačina, PUDIS a.s.	28
<b>Aktuální stav projektu hlubinného úložiště v České republice</b>	
Ing. Markéta Dohnálková, Ing. Jaromír Augusta, Ph.D., SÚRAO	38
<b>PVP Bukov – generická laboratoř pro podporu projektu hlubinného úložiště</b>	
Ing. Jan Smutek, Ph.D., RNDr. Lukáš Vondrovic, Ph.D., Ing. Jaromír Augusta, Ph.D., SÚRAO	44
<b>Beton se sníženým pH pro hlubinné úložiště radioaktivních odpadů</b>	
Ing. Lucie Hausmannová, Ph.D., Ing. Markéta Dohnálková, SÚRAO, Ing. David Čítek, doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D., Kloknerův ústav, ČVUT v Praze	54
<b>Výstavba stanic metra metodou Pile-Beam-Arch (PBA)</b>	
doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc., VŠB TU-Ostrava, Ing. Dong Yang Geng, Hebei GEO University Shijiazhuang, ČLR	60
<b>Fotoreportáž ze slavnostního proražení nového železničního tunelu Deboreč dne 11. 2. 2020</b>	65
<b>Ze světa podzemních staveb</b>	67
<b>Zprávy z tunelářských konferencí</b>	68
<b>Aktuality z podzemních staveb v České a Slovenské republice</b>	73
<b>Z historie podzemních staveb</b>	79
<b>Výročí</b>	82
<b>Rozloučení</b>	83
<b>Zpravodajství České a Slovenské tunelářské asociace ITA-AITES</b>	84

## Redakční rada / Editorial Board

### Čeští a slovenští členové / Czech and Slovak members

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

### Vydavatel

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

### Distribuce

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

### Redakce

Koželužská 2450/4, 180 00 Praha 8-Libeň, tel.: +420 702 062 610  
e-mail: pruskova@ita-aites.cz  
web: http://www.ita-aites.cz  
Vedoucí redaktor: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.  
Odborní redaktori: doc. Dr. Ing. Jan Pruška, Ing. Pavel Šourek,  
RNDr. Radovan Chmelář, Ph.D., Ing. Jozef Frankovský  
Grafické zpracování: Ing. Jiří Šilar DTP, Na Záměšli 502/3, 150 00 Praha 5  
Tisk: SERIFA, s.r.o., Jinonická 804/80, 158 00 Praha 5  
Foto na obálce: Zahájení ražby inženýrskogeologického průzkumu metra I.D., úsek PAD4 (Václav Anděl, Metrostav a.s., divize 5)

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

<b>Editorials:</b>	
doc. Ing. Richard Šňupárek, CSc., Editorial Board Member	1
Ing. Martin Höfler, Director and Chairman of the Board of Directors, PUDIS a.s.	2
JUDr. Jan Prachař, Managing Director, SÚRAO	3
<b>Completion of City Circle Road in Prague</b>	
Ing. Pavel Šourek, SATRA, spol. s r.o., Ing. Aleš Merta, PUDIS a.s., Ing. Lukáš Grünwald, SATRA, spol. s r.o.	4
<b>Geotechnical Monitoring of Construction of Step-Free Access to Karlovo Náměstí Metro Station</b>	
RNDr. Radovan Chmelář, Ph.D., Mgr. Pavel Tůma, PUDIS a.s., Ing. Tomáš Mikolášek, Ing. Michaela Gubaniová, GeoTec-GS, a.s.	17
<b>Culverting of Radlický Brook in Prague – Design, Engineering Geological Survey</b>	
Ing. Richard Kuk, Pavel Bačina, PUDIS a.s.	28
<b>Current Status of the Deep Geological Repository Project in the Czech Republic</b>	
Ing. Markéta Dohnálková, Ing. Jaromír Augusta, Ph.D., SÚRAO	38
<b>Bukov URF – a Generic Laboratory for the Support of the Deep Geological Repository Project</b>	
Ing. Jan Smutek, Ph.D., RNDr. Lukáš Vondrovic, Ph.D., Ing. Jaromír Augusta, Ph.D., SÚRAO	44
<b>Low pH Concrete in the Deep Geological Repository for Radioactive Waste</b>	
Ing. Lucie Hausmannová, Ph.D., Ing. Markéta Dohnálková, SÚRAO, Ing. David Čítek, doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D., Kloknerův ústav, ČVUT v Praze	54
<b>Construction of Metro Stations Using Pile-Beam-Arch (PBA) Method</b>	
doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc., VŠB TU-Ostrava, Ing. Dong Yang Geng, Hebei GEO University Shijiazhuang, ČLR	60
<b>Picture Report from Ceremonial Breakthrough of the New Railway Tunnel, Deboreč, on 11<sup>th</sup> February 2020</b>	65
<b>The World of Underground Constructions</b>	67
<b>News from Tunnelling Conferences</b>	68
<b>Current News from the Czech and Slovak Underground Construction</b>	73
<b>From the History of Underground Constructions</b>	79
<b>Anniversaries</b>	82
<b>Last Farewell</b>	83
<b>Czech and Slovak Tunnelling Association ITA-AITES Report</b>	84

Ing. Václav Veselý – SG Geotechnika a.s.  
Ing. Jan Vintera – Subterra a.s.  
Ing. Jaromír Zlámal – POHL cz, a.s.  
CzTA ITA-AITES: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.

### Zahranční členové / International members

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

### Published for service use

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

### Distribution

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

### Office

Koželužská 2450/4, 180 00 Praha 8-Libeň, phone: +420 702 062 610  
e-mail: pruskova@ita-aites.cz  
web: http://www.ita-aites.cz  
Editor-in-chief: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.  
Technical editors: doc. Dr. Ing. Jan Pruška, Ing. Pavel Šourek,  
RNDr. Radovan Chmelář, Ph.D., Ing. Jozef Frankovský  
Ing. Jiří Šilar DTP, Na Záměšli 502/3, 150 00 Praha 5  
Printed: SERIFA, s.r.o., Jinonická 804/80, 158 00 Praha 5  
Cover photo: Commencement of underground excavation for engineering geological survey for PAD4 section of Metro ID (Václav Anděl, Metrostav a.s., Division 5)

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

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

### ČZTA:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Fakulta dopravní ČVUT v Praze  
 Konviktská 20  
 110 00 Praha 1

Fakulta stavební ČVUT v Praze  
 Thákurova 7  
 166 29 Praha 6

Fakulta stavební VŠB-TU Ostrava  
 L. Podéště 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.  
 Jirsíkova 538/5  
 186 00 Praha 8

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

Inženýring dopravních staveb a.s.  
 Branická 514/140  
 147 00 Praha 4 – Braník

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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.  
 Pod Pekárnami 878/2  
 190 00 Praha 9 – Vysočany

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

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

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

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

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

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

UNIVERZITA PARDUBICE  
 Dopravní fakulta Jana Pernera  
 Studentská 95  
 532 10 Pardubice

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

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

VIS, a.s.  
 Bezová 1658  
 147 01 Praha 4

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

### STA:

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

**Členské organizácie:**  
 Alfa 04 a.s.  
 Jašíkova 6  
 821 07 Bratislava

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

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

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

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

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

Doprastav, a.s.  
 Drieňová 27  
 826 56 Bratislava

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

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

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

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

GEOstatik a.s.  
 Kragujevská 11  
 010 01 Žilina

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

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

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

IGBM s.r.o.  
 Chrenovec 296  
 972 32 Chrenovec – Brusno

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

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

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

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

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

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

Reming Consult a.s.  
 Trnavská 27  
 831 04 Bratislava

Renesco a.s.  
 Panenská 13  
 811 03 Bratislava

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

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

Slovenská správa ciest  
 Miletičova 19  
 826 19 Bratislava

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.  
 Madáchova 33  
 821 06 Bratislava

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

TUBAU, a.s.  
 Pribylinská 12  
 831 04 Bratislava

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

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

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

Ústav geotechniky SAV  
 Watsonova 45  
 043 53 Košice

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

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

Železnice SR  
 Klemensova 8  
 813 61 Bratislava

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

## Vážení a milí čtenáři,

první číslo letošního ročníku je věnováno dvěma organizacím – projekční organizaci PUDIS, a.s. a státní organizaci SÚRAO.

Projektová, průzkumná a konzultační společnost PUDIS a.s. se již více než 50 let podílí na řešení silničních, dopravních a vodohospodářských staveb a s její činností se setkáváme u většiny dopravních staveb především v pražské aglomeraci. Velký rozsah řešené problematiky představují tři příspěvky v tomto čísle, které se zabývají dokončením městského okruhu v Praze, projektem a IG průzkumem přeložky Radlického potoka a geotechnickým monitoringem na stavbě bezbariérového zpřístupnění stanice metra Karlovo náměstí.

Převažující téma článků v našem časopise představují především jednotlivé tunelové a další podzemní stavby, jejich příprava a realizace. Přitom někdy pro stromy nevidíme les a neuvědomujeme si, že předmětné stavby jsou součástí větších celků a širšího okolního prostředí. Zcela komplexní přístup k návrhu souboru dopravních staveb je předmětem článku kolegů Šourka, Mertý a Grünwalda, který představuje urbanisticko-dopravní studii dokončení městského okruhu v Praze v úseku Pelc-Tyrolka – Libeňská spojka. Zahnutí urbanistických a ekologických hledisek a koordinace s ostatními významnými stavebními záměry v okolí vedlo (vzhledem k původním návrhům) ke zvýšení podílu podzemních částí stavby a k návrhu rozsáhlého podzemního dopravního komplexu, který obsahuje i netradiční technická řešení (patrové uspořádání tubusů tunelů aj.).

Státní organizace SÚRAO (Správa úložišť radioaktivních odpadů) spravuje stávající úložiště nízkou a středně aktivních odpadů, ale zejména připravuje výstavbu finálního hlubinného úložiště vysoce radioaktivních odpadů pro uložení vyhořelého jaderného paliva. Zcela mimořádné požadavky na dlouhodobou bezpečnost v řádu desítek tisíc let kladou vysoké nároky na celou přípravu, výběr optimálního horninového prostředí, použití stavebních materiálů a technologií i monitoring.

Konstrukce podzemního úložiště je zejména u méně informované veřejnosti opředená různými mýty a dezinformacemi, a proto je velmi zajímavý příspěvek kolegů Dohnákové a Augusty, který se podrobně věnuje současnému stavu řešení hlubinného úložiště v České republice. Z hlediska podzemního stavitelství se jedná o velmi náročný a rozsáhlý projekt, který však je plně zvládnutelný současnými technologiemi a materiály.

První číslo nového ročníku našeho časopisu máte v rukou. Zajímavé a inspirativní čtení vám přeje

*doc. Ing. RICHARD ŠŇUPÁREK, CSc.  
člen redakční rady*

## Dear readers,

The first this year's issue is dedicated to two organisations – the PUDIS designing organisation and the SÚRAO state organisation.

The design, survey and consultancy company of PUDIS has been participating in solving road, transport and water management projects for over 50 years; we meet its activities at the majority of transport construction projects, in the first place in the Prague agglomeration. The large range of the problems being solved is represented in this issue by three papers dealing with the completion of the City Circle Road in Prague, the design and EG survey for the diversion of the Radlický Brook and geotechnical monitoring at the construction of the step-less access to Karlovo Náměstí metro station.

The predominant topic of papers in our journal is represented above all by individual tunnel construction and other underground construction projects, their preparation and implementation. Sometimes we do not see the forest for the trees and do not realise that the projects in question are parts of larger units and a wider surrounding environment. The completely complex attitude to the design for a complex of tunnels is the subject of a paper by colleagues Šourek, Merta and Grünwald. The paper represents an urban-traffic study on the completion of the City Circle Road in Prague, in the Pelc-Tyrolka – Libeň Link Road section. The incorporation of urban and ecological points of view and coordination with other important construction intentions in the surroundings led (with respect to original designs) to an increase in the proportion of underground parts of the project and to a design for a large underground traffic complex comprising even non-traditional technical solutions (stacked configuration of tunnel tubes etc.).

The SÚRAO state organisation (the Radioactive Waste Repository Authority) manages the existing repositories of low- and medium-level waste, but, first of all, prepares the construction of a final deep repository for high-level radioactive waste for disposal of spent nuclear fuels. The quite extraordinary requirements for long-term safety in the order of tens of thousands of years put high demands on the selection of optimum ground environment, the use of building materials, technologies and monitoring.

The structure of an underground repository is, first of all, for the less informed public, surrounded by various myths and disinformation. For that reason, the paper by colleagues Dohnáková and Augusta, dedicated in detail to the current state of the solution to a deep repository in the Czech Republic, is very interesting. From the point of view of the underground construction engineering, it is a very demanding and large project, which is however fully manageable using currently existing techniques and materials.

The first issue of the new edition of our journal is now in your hands. Interesting and inspiring reading is wished to you by

*doc. Ing. RICHARD ŠŇUPÁREK, CSc.  
Editorial Board Member*



## VÁŽENÍ ČTENÁŘI A PŘÍZIVCI ČASOPISU TUNEL,

platí volné přísloví „člověk mění a osud mění“. V edičním plánu tohoto časopisu na rok 2020 jsme v tomto čísle chtěli čtenáře Tunelu informovat o změnách, kterými naše společnost na sklonku loňského roku prošla. Po nedávné padesátce naší firmy by člověk čekal klidné proplování „středním věkem“, ale v naší společnosti tomu bylo samozřejmě jinak. Chtěli jsme informovat, že jsme absolvovali kompletní přeměnu v novou společnost s novou identitou, že v dalším období tedy budeme působit pod novým názvem a brandem, ale se stejným týmem a téměř stejným managementem. Nakonec však mohu informovat, že PUDIS se nepřejmenoval, jen loni po mnoha letech opustil lokalitu Hagibor na rozhraní pražských čtvrtí Malešic a Strašnice, a přestěhoval se na Prahu 6, do Bubeneč, na Podbabu. Mám současně radost z toho, že PUDIS významně personálně posílil o kolegy, které jsme přivítali ze sesterské společnosti VPÚ DECO PRAHA a.s. Ti k nám přinesli zkušenosti jak v oborech, kterými jsme už dříve disponovali, tak i v oborech nových, např. v oblasti geodetických prací nebo dozorování staveb. Vítejte na palubě!

Jakákoli fúze či reorganizace nebo i změna majitele je bezesporu významným zásahem do chodu každé firmy. Pokud se de facto slučují dvě společnosti s velkou tradicí a zaběhlými a léty osvědčenými postupy, pak je třeba citlivě nastavovat nové postupy a procesy tak, aby byly pokud možno pro všechny přijatelné, zároveň efektivní a racionální. Určitě neplatí jiná zažitá fráze „tako jsme to přece dělali vždycky, tak proč to měnit“. A tímto obdobím nyní procházíme. Připadá mi to skoro jako nové partnerství, kdy se dvojice poznává, sžívá a nastavuje si pravidla toho soužití. Naštěstí ale oba chtějí. V takovou chvíli se v životě firmy musí mírně upozadit ekonomické nebo obchodní cíle, a je nezbytné se daleko věnovat týmu. Tým je totiž ve firmách našeho oboru jednoznačně to nejcennější, co máme. Bez týmu nezapečíme ani tu nejlukrativnější a nejprestižnější zakázku.

Mám tedy tu příjemnou povinnost oznámit, že do roku 2020 PUDIS a.s. vstoupil po tzv. přeměně odštěpení sloučením. Nacházíme se po fúzi s vyčleněnou částí sesterské společnosti. Výsledkem je zhruba stopadesátčlenný tým dopravních projektantů, specialistů geologů, geotechniků, životního prostředí nebo inženýringu a majetkoprávních činností, ale také tým geodetů a technických dozorů. Přeměnou PUDIS nepřišel o žádnou dosud léty zajišťovanou profesi ani odbornost. Tomu jsem velmi rád a děkuji z tohoto místa všem svým kolegům, že se zmíněných změn nezalekli, a nevyužili pracovních nabídek konkurence.

Věřím, že do dalších let PUDIS vstupuje v dobré ekonomické i personální kondici a s odhodláním zabývat se těmi nejdůležitějšími dopravními stavbami nejen v Praze, ale i v celé České republice. Již dnes se podílíme na geotechnickém průzkumu pro budoucí metro D, který je realizován formou průzkumné štoly. Je to bezpochyby nejvýznamnější brzká tunelová stavba v Praze. „Děčko Dáme“ řekl pan primátor při slavnostním zahájení průzkumu v červnu loňského roku. My tedy doplňujeme „PUDIS Připraven Pomoci, Pane Primátore!“ Současně jsme rádi, že naše týmy mohou projektovat další významné pražské stavby, jako je Radlická radiála nebo Městský okruh v úseku Pelc-Tyrolka – Balabenka. Obě stavby jsou také významné z pohledu základního skeletu pražské dopravy. Doufejme, že se podaří tyto projekty vbrzku posunout přes všechny legislativní překážky blíže k realizaci. Praha by si to zasloužila.

Závěrem tohoto úvodníku velmi děkuji všem našim partnerům za příjemnou a přátelskou spolupráci a všem kolegyním a kolegům v PUDIS a.s. za to, že jsou a že tvoří kus firemní historie.

Zdař bůh!



## DEAR READERS AND SUPPORTERS OF TUNEL JOURNAL,

There is a liberal byword “man means and destiny changes”. We wanted to inform TUNEL journal readers in this issue about the changes in the editorial plan of this journal for 2020 that our company passed at the end of the last year. After the recent fiftieth anniversary of a firm, one would expect a quiet passage through the “middle age”; but of course, it was different in our company. We wanted to inform you that we have undergone a complete transformation into a new company with a new identity and that in the new period we will operate under a new name and brand, but with the same team and nearly the same management. However, in the end, I can inform you that PUDIS has not been renamed. It only last year, after many years, abandoned the Hagibor locality on the border between Prague districts of Malešice and Strašnice and moved to Prague 6, Bubeneč, Podbaba. At the same time, I am pleased that PUDIS significantly strengthened its staff by employing our colleagues we welcomed from our sister company of VPÚ DECO PRAHA a.s. They brought experience to us both in the fields we had before and also in new fields, e. g. surveying or supervising construction sites. Welcome on board!

Any merger or reorganisation, or even a change of the owner, is undoubtedly significant intervention in the operation of any company. When, de facto, two companies with a great tradition and well-established and well proven procedures are to be merged, it is necessary to set new procedures sensitively so that they are not only acceptable for all, but also effective and rational. The rooted phrase “That is how we have always done it, so why change it” is certainly not valid. And it is just the period of time we are passing through now. It seems to me almost like a new partnership where the couple gets to know each other, gets used to live together and establishes the rules of living together. Fortunately, both partners wish it. At such a moment the economic or business objectives must be slightly eclipsed in the company life and it is necessary to dedicate attention to the team. The reason is the fact that the team is unambiguously the most valuable asset in the companies operating in our field of business. Without the team we would not be able to ensure even the most lucrative and most prestigious order.

So I have the pleasant obligation to announce that PUDIS a.s. entered into 2020 after the so-called “transformation of splitting by merging”. We are currently found at the state after the merger with a singled-out part of the sister company. The result is an about 150-member team of transport designers, specialists in geology, geotechnics, environment or engineering and property rights, but also a team of surveyors and technical supervisors. PUDIS has lost due to the transformation no profession or expertise that had been ensured so far. I am very glad about this and I thank all my colleagues from this place for not being afraid of the above-mentioned changes and not using competitors’ job offers.

I believe that PUDIS enters the coming years in good economic and personal condition and with a determination to deal with the most important transportation projects not only in Prague, but also in the whole Czech Republic. Already today we participate in geotechnical investigation for the future D line of Metro, which is being carried out in the form of an exploratory gallery. It is undoubtedly the most important tunnelling project to come soon in Prague. “We will manage the D” said the Lord Mayor during the survey opening ceremony in June 2019. So we add: “PUDIS is Ready to Help, Mr. Mayor!” At the same time, we are happy that our teams are allowed to design for other important projects, such as the Radlice Radial Road or the internal City Circle Road in the Pelc-Tyrolka – Balabenka section. The two projects are important also from the point of view of the basic skeleton of Prague traffic. Hopefully, these projects will soon be pushed closer to implementation despite all legislative obstacles. Prague would deserve it.

To conclude this leading article, I am very grateful to all our partners for pleasant and friendly collaboration and to all colleagues in PUDIS a.s. for being and forming a piece of the history of our company.

God speed you!

**Ing. MARTIN HÖFLER**

*generální ředitel  
a předseda představenstva, PUDIS a.s.  
General Director and Chairman  
of the Board of Directors, PUDIS a.s.*

**VÁŽENÍ ČTENÁŘI,**

jsem velice potěšen, že vám mohu v tomto vydání odborného časopisu Tunel představit činnost Správy úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO).

SÚRAO je technická státní organizace, která hledá bezpečná řešení pro budoucí generace v oblasti ukládání radioaktivních odpadů. Naším posláním je zajišťovat bezpečné ukládání radioaktivních odpadů, dosud vyprodukovaných i budoucích, v souladu s požadavky na jadernou bezpečnost. Radioaktivní odpady v České republice, stejně jako v jakékoli jiné zemi, vznikaly, vznikají a budou. A je zodpovědné se o ně postarat.

Klíčovou součástí naší činnosti je zajišťování provozu úložišť radioaktivních odpadů. SÚRAO v současné době provozuje tři úložiště – Bratrství v Jáchymově, Richard v Litoměřicích a úložiště Dukovany. Tato úložiště jsou určena k ukončení životního cyklu nízko- a středněaktivních odpadů, pocházejících z využití radioaktivních látek v průmyslu, zdravotnictví či výzkumu a také z provozu jaderných elektráren. Jedná se například o použité pracovní oděvy, vyřazené laboratorní přístroje, staré požární hlásiče atd. Tento typ materiálu se ukládá již více než 50 let.

Veškeré činnosti SÚRAO související s ukládáním RAO jsou nesmírně komplexní. Pro perfektní uložení jsme vyvinuli přísný a jednotný systém, zahrnující například přejímky, evidenci či monitorování úložišť. Navíc jsme připravili rozsáhlou rekonstrukci úložiště Richard, která výrazně urychlí přejímku obalových souborů a zvýší ukládací kapacity.

Mezi naše hlavní činnosti rovněž patří příprava budoucího hlubinného úložiště. Jedná se o velice sofistikované zařízení, které bude sloužit k uložení použitého paliva z jaderných elektráren a vysokoaktivních odpadů. Obzvláště v posledních letech se příprava tohoto projektu velmi zintenzivnila.

Naše expertní týmy jsou velmi aktivní i na poli vědy. Účastníme se desítek domácích i mezinárodních projektů týkajících se této problematiky. Vědci SÚRAO řeší společně s dalšími týmy například otázky hodnocení bezpečnosti hlubinného úložiště, testování materiálů pro konstrukci obalových souborů, chování horninového masivu v různých podmínkách, změny vlastností bentonitu a desítky dalších specifických parametrů.

Rovněž provozujeme podzemní výzkumné pracoviště na Bukově. Laboratoř se nachází v hloubce zhruba 600 metrů pod povrchem, tedy přibližně v takové úrovni, v jaké je do budoucna plánováno hlubinné úložiště. Provádíme zde experimenty a měření, z nichž získáváme cenná data o chování inženýrských bariér, hornin a dalších procesech probíhajících ve velkých hloubkách, a to právě s ohledem na technickou proveditelnost budoucího úložiště. PVP Bukov přináší velmi cenné informace například o geologii či hydrologických podmínkách a umožňuje rovněž otestovat řadu technologických řešení.

Více o některých našich projektech se můžete dočíst právě v tomto vydání. Jsem přesvědčen, že se nám podaří udržet vysokou kvalitu těchto odborných projektů i v letech budoucích a že budeme moci i nadále využívat kvalitních českých expertů v oblasti tunelářství. Všem čtenářům přeji mnoho úspěchů.

**DEAR READERS,**

I am very pleased to be able to present the activities of the Czech Radioactive Waste Repository Authority (SÚRAO) in this issue of the Tunel expert journal.

SÚRAO is a state technical organisation that is searching for safe solutions to the disposal of radioactive waste. Our mission is to ensure the safe disposal of current and future radioactive waste in accordance with nuclear safety requirements. As in many other countries, radioactive waste already exists in the Czech Republic and will continue to be generated in the future. Therefore, it is important that we approach this issue in a responsible and open manner.

One of our most important responsibilities concerns the operation of the country's three currently operational radioactive waste repositories – Bratrství in Jáchymov, Richard in Litoměřice and Dukovany. These repositories serve for the disposal of low- and intermediate-level waste resulting from the use of radioactive substances in the industry, healthcare and research sectors as well as via the operation of the Czech Republic's two nuclear power plants. The waste includes, for example, old protective clothing, discarded laboratory equipment, old fire alarms, etc. These types of material have been safely disposed of in the Czech Republic for more than 50 years.

The disposal of radioactive waste is an extremely complex process, concerning which SÚRAO has developed a strictly controlled and unified system that covers, for example, the acceptance and recording of waste and the continuous monitoring of its three repositories. In addition, extensive reconstruction is planned at the Richard repository that will significantly speed up the waste disposal package acceptance procedure and enhance the disposal capacity.

We are also responsible for the development of the future Czech deep geological repository. This sophisticated and complex facility will serve for the disposal of spent fuel from nuclear power plants and high-level radioactive waste. The research and development concerning this project has intensified in recent years.

Our expert teams are very active in the field of scientific research and we enjoy active participation in dozens of domestic and international projects related to nuclear waste disposal issues. SÚRAO researchers, together with various external research organisations, are currently addressing issues such as the assessment of the safety of the future deep geological repository, the testing of materials for the construction of waste disposal packages, the behaviour of rock masses under various conditions, changes in the properties of bentonite and many other related topics.

We also operate the Bukov Underground Research Facility which is located at a depth of approximately 600 metres below the earth's surface, i.e. approximately at the depth envisaged for the future construction of the deep geological repository. The experiments currently underway at the Bukov facility are providing both valuable data on the behaviour of engineered barriers and the rock massif and the various processes that occur at such depths beneath the surface, especially with concern to the technical feasibility of the future repository, and the essential information on geological and hydrological conditions required for the testing of a wide range of technological methods and approaches.

More information on our various research projects is provided in this issue of Tunel. I am convinced that we will continue to maintain the high quality of the research we are conducting in the years to come with the invaluable assistance of Czech experts in the field of tunnelling.

**JUDr. JAN PRACHAŘ**

*ředitel SÚRAO*  
**Managing Director, SÚRAO**

# DOKONČENÍ MĚSTSKÉHO OKRUHU V PRAZE COMPLETION OF CITY CIRCLE ROAD IN PRAGUE

PAVEL ŠOUREK, ALEŠ MERTA, LUKÁŠ GRÜNWARD

## ABSTRAKT

Článek se možná svým zaměřením vymyká obsahovému standardu časopisu Tunel, přesto je určitě namístě seznámit odbornou tunelářskou veřejnost s urbanisticko-dopravní studií, která územně a technicky stabilizovala poslední úsek pražského Městského okruhu zbývající pro jeho dokončení. Soubor staveb Městského okruhu a Libeňské spojky byl popsán již v čísle 2/2011 časopisu Tunel, nicméně v tuto chvíli se již jedná o koncepčně překonané řešení. Nový článek je zaměřen na úvodní informaci o postupech a výsledku studie, obsahuje základní charakteristiku souboru staveb a popisuje nový podstatně zvýšený rozsah tunelových úseků na této pro Prahu strategické stavbě. Pro podrobnější seznámení s technickými souvislostmi bude jistě dostatek příležitostí jak na stránkách časopisu Tunel, tak v jiných odborných plénech po rozpracování dokumentace pro územní řízení a v navazujících etapách přípravy a realizace.

## ABSTRACT

The paper possibly exceeds the standard content of TUNEL journal papers; nevertheless, it is certainly appropriate to inform the professional tunnelling public about the urban-traffic study which stabilised in terms of town planning and technically the last section of the City Ring Road (the inner circle) remaining to be completed. The package of construction lots of the City Ring Road and the Libeň Link Road has already been described in issue No. 2/2011 of TUNEL journal; nevertheless, the concept of this solution has already been surpassed. The new paper is focused on the initial information about procedures and results of a study. It contains basic characteristics of the package of construction lots and describes the new, significantly enlarged scope of tunnelled sections for this project, which is so strategically important for Prague. There will certainly be ample opportunities for more detailed introduction of technical connections both on the pages of TUNEL journal and at other professional plenary sessions after completing documents for the zoning process and during the following stages of the preparation and realisation.

## ÚVOD

Rada hl. města Prahy dne 4. 11. 2019 schválila svým usnesením č. 2309 úpravu koncepčního řešení staveb Městského okruhu č. 0081, č. 0094 v úseku Pelc-Tyrolka – Rybníčky a č. 8313 Libeňská spojka podle urbanisticko-dopravní studie (UDS 2019), vypracované v prvním pololetí 2019 širokým kolektivem autorů ze společností SATRA, spol. s r.o., PUDIS a.s., METROPROJEKT Praha a.s., SUDOP PRAHA a.s., Mott MacDonald CZ, spol. s r.o. a týmem architektů pod vedením Ing. arch. Jana Kasla. Zároveň uložila investičnímu odboru Magistrátu hlavního města Prahy v souladu s urbanisticko-dopravní studií zajistit vyhotovení dokumentace pro územní řízení předmětných staveb.

Za tímto jednoduchým textem se skrývá významné strategické rozhodnutí hl. m. Prahy navázat na poslední dokončenou část Městského okruhu v úseku Malovanka – Pelc-Tyrolka a zahájit konkrétní investorskou přípravu jeho poslední části, avšak podle nejmodernější koncepce řešení městských okružních komunikací využívané ve vyspělých západních metropolích. Stalo se tak více než čtyři roky poté, co byl severní segment Městského okruhu, veřejnosti známý jako tunelový komplex Blanka, zprovozněn a po čtyřletém zkušebním provozu, kdy prokázal dopravní i technologickou kvalitu, v říjnu 2019 i zkolaudován. To vše přes poměrně dlouhodobou snahu neoborných mediálních a politických kruhů tuto ojedinělou a v odborných kruzích uznávanou stavbu dehonestovat.

Zkušební provoz Blanky průběžně sledoval a vyhodnocoval řadu aspektů jak v objektech stavebních a technologických celého díla, tak odezvy v dopravní situaci a vlivy na životní prostředí v širších oblastech Prahy. Výsledky dlouhodobého monitorování potvrdily očekávané záměry a přínosy investice. Zkušenosti z přípravy, realizace a dosavadního provozu jsou proto významným

## INTRODUCTION

On the 4<sup>th</sup> November 2019, the Prague City Council approved, through its resolution No. 2309, modification of the conceptual design for City Circle Road construction lots No. 0081, No. 0094 in the Pelc-Tyrolka – Rybníčky section, and No. 8313 the Libeň Link Road according to the urban-traffic study (UDS 2019), which was carried out in the first half of 2019 by a wide collective of authors from SATRA, spol. s r.o., PUDIS a.s., METROPROJEKT Praha a.s., SUDOP PRAHA a.s., Mott MacDonald CZ, spol. s r.o. and a team of architects led by Arch. Jan Kasl. At the same time it ordered the Investment Department of the Prague City Hall, in accordance with the urban-traffic study, to secure preparation of documents for the zoning process for the construction lots in question.

Behind this simple text there is an important strategic decision of the Prague City Hall to link to the last completed part of the City Circle Road in the Malovanka – Pelc-Tyrolka section and commence concrete investment preparation for its last part, but conducted in compliance with the state-of-the-art concept of designs for urban circle roads used in developed western metropolises. This decision took place after more than four years after the northern segment of the City Circle Road, known to the public as the Blanka complex of tunnels, was opened to traffic. After 4 years of trial operation during which it proved traffic-related and equipment-related quality it received the final inspection approval (in October 2019). All of that happened despite relatively long efforts of unprofessional medial and political circles to vilify this unique project, which is highly regarded in professional circles.

The trial operation of the Blanka tunnels continuously monitored and assessed numerous aspects not only in construction objects and equipment units of the entire project, but it also responses in the traffic situation and environmental impacts in wider areas of Prague. The results of the long-term monitoring confirmed the anticipated intentions and benefits of the investment. The experience from



informačním zdrojem pro stanovení přístupu jak k přípravě stavby, tak ke konkrétním návrhům technického řešení v navazujícím úseku Městského okruhu.

## URBANISTICKO-DOPRAVNÍ VÝZNAM

Systém nadřazené komunikační sítě Prahy je stanoven v platném územním plánu z roku 1999 a je potvrzován i ve vznikajícím metropolitním plánu. Je definován radiálně okružním konceptem postaveným na dvou okruzích (vnitřní Městský a vnější Pražský) propojených radiálami. Tento koncept je s určitými vývojovými modifikacemi postupně naplňován již více než 30 let.

Městský okruh, jako nejdůležitější část městské komunikační sítě, je navržen tak, aby svou kapacitou a atraktivitou na sebe soustředil většinu diametrálních dopravních vztahů a propojil oblasti středního pásma města. Má charakter městské sběrné komunikace. Základní funkcí Městského okruhu je umožnit regulaci automobilové dopravy v centrálních částech města, a tím je ochránit před nežádoucími negativními účinky dopravy (hluk, exhalace, atd.). Inkriminovaná oblast uvnitř Městského okruhu má rozlohu přibližně 56,3 km<sup>2</sup>.

Není pochyb, že je to koncept správný. Stojí na nabídce nadřazených komunikací zatěžovaných významnou částí přepravních vztahů, dále pomocí mimoúrovňových křižovatek rozváděných do návazné uliční sítě. Jeho funkčnost prokazuje mimo jiné i vyhodnocení zkušebního provozu Blanky, která na sebe přenesla až 100 tisíc denních průjezdů vozidel.

Není rovněž pochyb o tom, že naplnění očekávaných přínosů nadřazeného dopravního systému na pražskou uliční síť je odvislé od stavu jeho dokončenosti. Je zřejmé, že současná nespojitost systému neumožňuje přijmout další návazná doprovodná opatření regulačního charakteru na uliční síti vnitřního města, protože je nelze realizovat bez související funkční dopravní infrastruktury. Absence východního segmentu Městského okruhu, ale i chybějících úseků vnějšího Pražského okruhu, se na tom zřetelně projevují. Do kompletnosti Městského okruhu chybí dokončit přibližně 30 % z jeho celkové délky 32 km. Tuto část pokrývá právě schválená urbanisticko-dopravní studie.

Přestože počátek dlouhodobě sledovaného dopravního systému Prahy pro automobilovou dopravu lze vysledovat již v 70. letech 20. století s definicí Základního komunikačního systému (ZAKOS), nelze ho považovat za přežitý. Je nevyvratitelnou skutečností, že základní východiska pro jeho funkci ve městě se v čase výrazně nezměnila. Lze konstatovat, že doposud nebyl představen žádný jiný výhodnější dopravní koncept, který plní stanovené požadavky dopravní funkce potřebné pro rozvoj města i v reálné situaci provozu a nejen v ideách dopravních „čarodějů“.

S postupnou realizací jednotlivých úseků Městského okruhu se však nezastavil vývoj názorů laické i odborné veřejnosti, jak kapacitní dopravní stavby začlenit do území rostlého města, aby neměly jen samotnou dopravní funkci, ale aby zároveň splňovaly podmínky pro rozvoj urbanistické struktury dotčeného území. Z této společenské poptávky podporované politickou reprezentací Prahy vychází i komplexní návrh urbanisticko-dopravní studie. Může se polemizovat, zdali se jedná o studii urbanisticko-dopravní či dopravně-urbanistickou. Taková polemika je však zcela zbytečná, protože doprava je nedílnou součástí urbanistické struktury, jak ji také studie pojímá. Akcentuje požadavky na moderní urbánní prostředí, a to ve vztahu jak ke stávající struktuře, tak z pohledu rozvoje přilehlého i vzdálenějšího území. Přitom

the preparation, realisation and the current operation is therefore a source of information significant for determination of the attitude to both the construction preparation and concrete proposals for the technical solution for the following section of the City Circle Road.

## URBAN-TRAFFIC PURPOSE

The system of higher-ranking road network in Prague is defined in the valid land-use plan from 1999 and is confirmed even in the originating metropolitan plan. It is defined by the radial-circular concept built on two circles (the inner City Circle and the outer City Ring) interconnected by radial roads. Implementation of this concept has been gradually proceeding, with certain development exceptions, for more than 30 years.

The City Circle Road, as the most important part of the urban road network, is designed in a way ensuring that it attracts the majority of diametric traffic relationships owing to its capacity and attractiveness, and interconnects the areas of the middle zone of the city. It has got the character of an urban distributor road. The basic function of the City Circle Road is to allow for regulation of vehicular transport in the central parts of the city, thus to protect them from undesirable effects of traffic (noise, exhaust emissions, etc.). The area in question inside the City Circle amounts approximately to 56.3km<sup>2</sup>

There is no doubt that the concept is correct. It is built on the offer of superior roads burdened by significant parts of transportation relationships, which are further distributed to the linking street network by means of grade-separated intersections. Its functionality is proved, among other things, even by the assessment of the trial operation of the Blanka system, which took over up to 100 thousand passages of vehicles through the city per day.

There is also no doubt that meeting the expected benefits of the higher-ranking transportation system to Prague's street network depends on the state of its completion. It is obvious that the current discontinuity of the system does not allow for application of other accompanying follow-up measures of the regulatory character to the street network in the inner city, because they cannot be implemented without the related functional transportation infrastructure. The absence of the eastern segment of the City Circle Road, but also of the missing sections of the outer Prague City Ring Road, are obviously reflected in it. Approximately 30 per cent of the total City Circle Road length of 32km is missing to its completion. This is the part which is covered by the just approved urban-traffic study.

Despite the fact that the beginning of the Prague transportation system for vehicular traffic can be found as early as the 1970s, the Basic Road System (ZAKOS) existing at that time cannot be considered as outdated. It is an irrefutable fact that the basic starting points for its function in the city have not significantly changed with time. It is possible to state that no other more advantageous concept of transportation, fulfilling the requirements prescribed for the transportation system required for the development of the city and in the realistic situation in traffic operation and not only in ideas of traffic "wizards", has been introduced yet.

Nevertheless, the development of opinions of the lay and professional public on how to incorporate high-capacity traffic structures into the territory of the living city to fulfil not only their transportation function, but also to meet the conditions for development of the urban structure of the territory, affected by them. The comprehensive design for the urban-traffic study is built upon this social demand supported by the political representation of Prague. It is possible to argue whether it is an urban-traffic study or a traffic-urban study. But such arguing is absolutely useless because traffic is an inseparable part of urban structure, as it is also conceived by the study. It puts stress on requirements for modern urban environment in relationship not only to the existing structure,

respektuje výhledovou dopravní prognózu, která není dopravním návrhem nijak redukována.

## VÝVOJ STUDIE

Cílem studie bylo korigovat původní návrh vyvíjející se od roku 2000, a to v souladu s podmínkami hodnocení EIA a doporučeními městských institucí zabývajících se dopravou a územním plánováním. Mezi základní vstupy, kromě zásad stanovených koordinátorem prací, jednotlivými zpracovateli a týmem architektů urbanistů, byla spolupráce s nově zvolenými zástupci hlavního města, mj. radním pro dopravu a radním pro územní rozvoj. Díky jejich důvěře a porozumění investora mohl tým zpracovatelů projevit značnou míru iniciativy a kreativity. Výsledky studie tak nemusely být nadměrně svázané historickými podklady.

Naopak v podstatě jedinou podmínkou bylo udržení okrajových styčných bodů a zabezpečení platnosti stanovisek EIA. Výstupem studie je tak kromě uceleného podkladu pro navazující zpracování dokumentace pro územní rozhodnutí i změna územního plánu hl. m. Prahy a v malém úseku i aktualizace zásad územního rozvoje. Změna územního plánu se však připravovala i na původní řešení, nicméně v menším rozsahu změn.

Původním předpokladem plnění studie bylo mj. provést úpravy vedoucí ke zlepšení pěších a cyklistických tras a vazeb v řešeném území, včetně jeho obsluhy městskou veřejnou dopravou. Zpracovatelský tým v interakci se zástupci hlavního města tak v postupných krocích, čítajících bezpočet dílčích variant řešení, přehodnocoval nejen koncepci souvisejícího řešeného území, ale nakonec i koncepci vlastní trasy okruhu.

Součástí studijních prací bylo i vymezení ploch pro možnou urbanizaci a rozvoj zelené infrastruktury, mj. doplnění uličních bloků v kompaktním městě a rehabilitace zelených ploch, dnes tvořených převážně extenzivními porosty bez údržby.

Výsledkem je komplexní návrh založený na maximální možné integraci stavby nadřazené komunikační síti do městského prostředí s nejvyšší možnou mírou eliminace negativních urbanistických, ale i environmentálních dopadů do struktury města.

Řešení využívá vedení Městského okruhu (MO) a Libeňské spojky (LS) převážně v podzemí, zatímco na povrchu jsou vytvořeny podmínky pro místní městské dopravní vazby, rozvoj dotčeného území a krajiny, vždy v souladu s aktuálními i předpokládanými budoucími požadavky.

Výsledkem tak kromě naplnění dopravně inženýrských požadavků je nezanedbatelný přínos pro město a jeho obyvatele, spočívající v možnosti konečné stabilizace území dlouhodobě zatíženého stavebními uzávěrami a nejistotami o rozsahu a typu řešení dopravních staveb. Do značné míry zanedbané území tak bude konečně možné urbanisticky dotvořit, a to jak dostavbou bytových domů, tak i objekty veřejného vybavení a v nemalé míře i parkovými a rekreačními plochami.

Není třeba ani zdůrazňovat, že současná občansko-politická angažovanost a moderní pojetí fungování veřejné správy, tedy možnost ovlivňování procesu přípravy a výstavby ze strany veřejnosti, si více než kdykoliv dříve vynucuje takto významnou veřejnou investici automaticky propojit s vhodnými investicemi do celkového zlepšení prostředí pro život ve městě. Bez rozsáhlé přidané hodnoty pro dotčené obyvatele je prosazení těchto záměrů již nemožné.

but also from the point of view of the development of the adjacent and further territories. In doing so, it respects the forward-looking traffic forecast, which is not at all reduced by the traffic design.

## DEVELOPMENT OF THE STUDY

The objective of the study was to correct the original design evolving since 2000, complying with the conditions of the EIA and recommendations of the municipal institutions dealing with traffic and land-use planning. Among the fundamental inputs, apart from the principles prescribed by the work coordinator, individual authors and the team of urban architects, there was collaboration with newly elected representatives of the City Hall, among others with the councillor for transport and councillor for territorial development. Owing to their trust and understanding of the client, the team of authors could show a great deal of initiative and creativity. The results of the study did not have to be unduly bound by historical documents.

Just opposite, the nearly only condition was that the edge contact points were maintained and validity of the EIA opinions was secured. The study output is therefore, in addition to comprehensive grounds for subsequent work on documents for the zoning and planning decision, a change in the Master Plan for the City of Prague and, in a short section, also updating of principles of territorial development. A change in the Master Plan had been under preparation even for the original solution, but to a lesser extent.

The original condition for fulfilling the study was, among others, implementation of modifications leading to improvement of cycle and pedestrian tracks and relations in the territory being solved, including urban public transport services. The working team, in interaction with representatives of the Town Hall, reassessed, in successive steps comprising countless partial variants of the solution, not only the concept of the relating territory being solved, but eventually even the concept of the route of the City Circle Road.

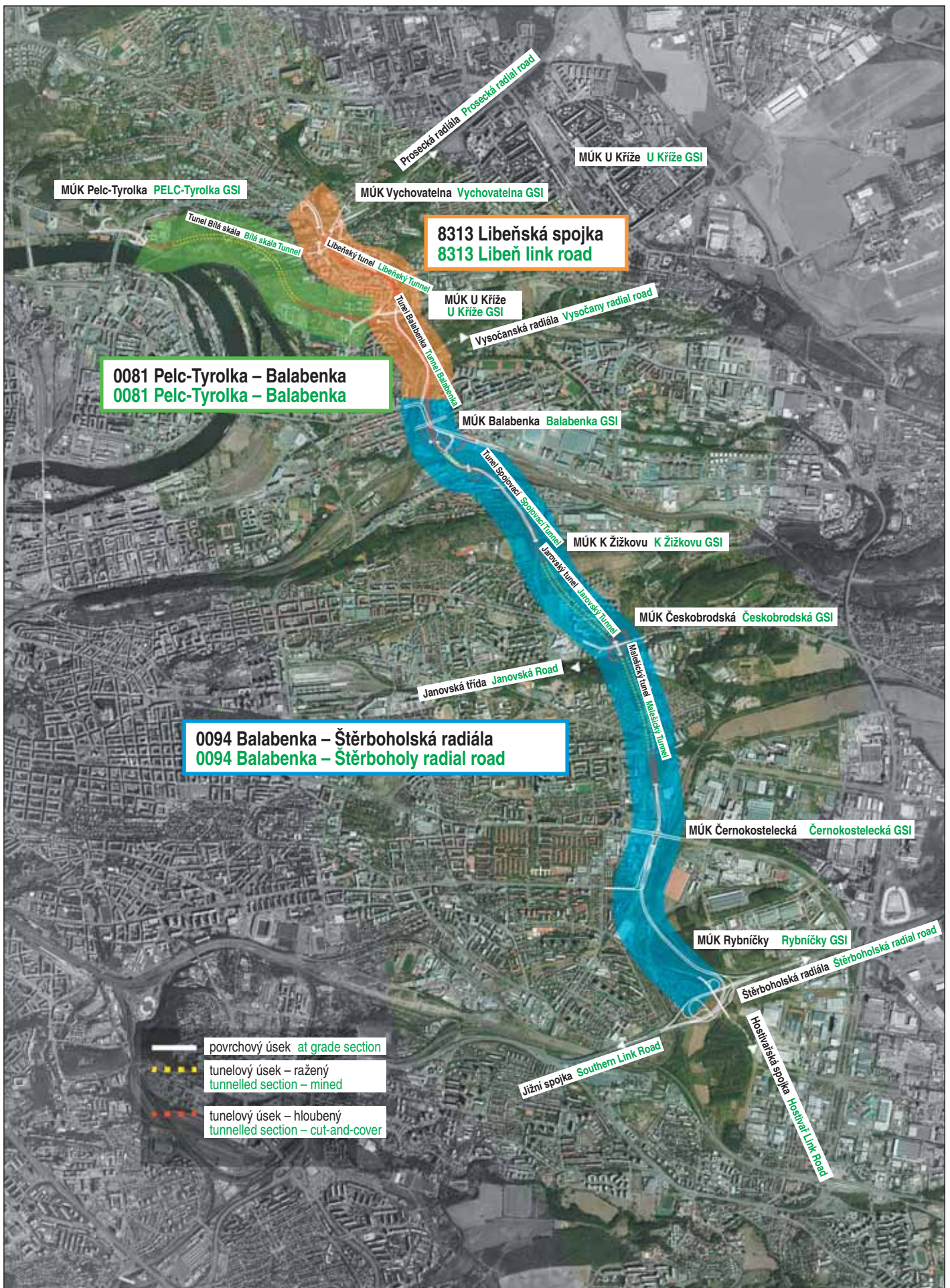
The study work even comprised the delimitation of areas for possible urbanisation and development of green infrastructure, among others, addition of street blocks in the compact city and rehabilitation of green surfaces which are today formed by mostly extensive vegetation without maintenance.

The work resulted into a comprehensive design based on maximum possible integration of the higher-ranking road network into the urban environment with highest possible degree of elimination of negative urban, but also environmental impacts on the structure of the city.

The solution uses the routes of the City Circle Road (CCR) and the Libeň Link Road (LLR) (mostly underground, whilst at the surface, conditions are created for local transport relationships, development of the affected territory and landscape, always in compliance with current and assumed future requirements.

The result is, apart from fulfilling transportation-engineering requirements, not negligible contribution to the city and its population, lying in the possibility for final stabilisation of the territory burdened in the long term by prohibitions on construction and uncertainties regarding the scope and type of solution for transport-related projects. It will be finally possible to complete the largely neglected territory by building new residential blocks, public facilities and, to a high degree, even park and recreational areas.

It is even not necessary to stress that the current civic-political engagement and modern concept of public administration, i.e. the possibility of influencing the process of preparation and construction by the public more than ever enforce such a major public investment to be automatically linked to appropriate investments to improve the overall living in the urban environment. Without extensive added value for the people concerned, the pursuit of these intentions is no longer possible.



Obr. 1 Schéma Městského okruhu a Libeňské spojky s názvy jednotlivých tunelů  
 Fig. 1 Map of the City Circle Road and the Libeň Link Road with names of individual tunnels

## CHARAKTERISTIKA VÝSLEDNÉHO NÁVRHU

Zbývající část Městského okruhu se skládá ze souboru tří staveb (obr. 1), které se stýkají v dopravním uzlu U Kříže – Balaběnka, a navzájem se doplňují:

- Městský okruh, stavba číslo 0094 v úseku Balaběnka – Rybníčky;
- Městský okruh, stavba číslo 0081 v úseku Pelc-Tyrolka – U Kříže;
- Libeňská spojka, stavba číslo 8313 v úseku Vychovatelna – Balaběnka.

Pozorný čtenář si všimne změny u jednotlivých staveb oproti původnímu řešení popisovanému např. v časopise Tunel 2/2011. Změny jsou dány posunem rozhraní staveb, jejichž potřeba vyplynula z výsledků technického řešení ve studii a organizačních potřeb budoucí realizace.

Celková délka trasy souboru staveb činí cca 10,5 km (6,0 km stavba č. 0094, 2,4 km stavba č. 0081, 2,1 km stavba č. 8313). Trasa je vedena v délce cca 8,5 km v tunelech hloubených a ražených. Jednotlivé tunely Bílá skála, Libeňský, Balaběnka, Spojovací, Jarovský a Malešický na sebe bezprostředně navazují a vzniká tak jeden rozsáhlý podzemní dopravní komplex. Oproti předchozím řešením je trasa MO+LS ve všech urbanisticky významných lokalitách nově vedena pod povrchem a nedochází tak k jejich negativnímu ovlivnění nadměrnou automobilovou dopravou a neměstskými dopravními stavbami.

Základní uspořádání v celém navrženém souboru staveb odpovídá zavedeným zvyklostem u již provozované části Městského okruhu. Komunikace MO i LS jsou navrženy jako místní sběrné, směrově rozdělené, v základním uspořádání 2×2 průběžné jízdní pruhy o šířce 3,5 m. Návrhová rychlost na hlavní trase je 80 km/h. V tunelech je návrhová rychlost 70 km/h. V místech složitých dopravních uzlů je uvažováno s povolenou rychlostí 50 km/h. V tunelových úsecích je uvažováno vždy se samostatným tunelovým tubusem pro každý jízdní směr. Navrhovaná výška průjezdního prostoru činí 4,5 m. Samozřejmostí je bezpečnostní a technologické vybavení podle nejnovějších standardů.

Soubor staveb je prostorově zkoordinován s ostatními významnými městskými, státními, ale i známými soukromými záměry ve svém okolí, mj. s druhou etapou Vysočanské radiály, záměrem vysokorychlostních tratí v oblasti Balaběnky a doplněním dvou železničních zastávek U Kříže a Hostivař/Malešice.

Dopravní návrh má kapacitu uspokojující poptávku odvozenou od pražské výhledové dopravní prognózy, a ta není nijak konzervativní. Při zohlednění výhledových rozvojových záměrů města vycházejí intenzity v nejzatíženějších úsecích více než 80 tis. vozidel obousměrně za 24 hodin. Po realizaci se dopravní intenzity sníží, např. v ulici Čuprova ze současných cca 40 tis. voz/den na cca 13 tis. voz/den, v Povltavské z cca 29 tis. voz/den na 0 voz/den (Povltavská bude po dokončení MO sloužit jako promenáda pouze pro bezmotorovou dopravu), ve Spojovací cca 31 tis. voz/den na cca 19 tis. voz/den, v Úvalské z cca 25 tis. voz/den na cca 6 tis. voz/den, v Zenklově z cca 22 tis. voz/den na cca 5 tis. voz/den a v Holešovičkách ze současných cca 88 tis. voz/den na cca 68 tis. voz/den.

V rámci projektu vznikne přes 40 km bezmotorových komunikací, především v trase MO, a to cca 11 km samostatných cyklostezek, cca 12,5 km sdružených chráněných tras a přes 18 km cyklopruhů v komunikacích. Dále vznikne více než 7 ha nových ploch městské zeleně a dalších 25 ha stávajících ploch bude rekvizitováno do podoby nových městských parků.

## CHARACTERISTICS OF THE RESULTANT DESIGN

The remaining part of the City Circle Road consists of a package of three construction lots (see Fig. 1), which meet in the traffic node U Kříže – Balaběnka and complement each other:

- City Circle Road, construction lot No. 0094 in the Balaběnka – Rybníčky section;
- City Circle Road, construction lot No. 0081 in the Pelc-Tyrolka – U Kříže section;
- Libeň Link Road, construction lot No. 8313 in the Vychovatelna – Balaběnka section.

Attentive reader will notice changes in individual construction lots compared to the original solution described, for example, in issue 2/2011 of TUNEL journal. The changes are given by shifting of interfaces between construction lots, the need for which followed from the results of the technical solution in the study and the organisational requirements of the future realisation.

The total length of the route of the package of construction lots amounts to ca 10.5km (6.0km construction lot No. 0094; 2.4km lot No. 0081; 2.1km lot No. 8313). The route runs through ca 8.5km long cut-and-cover or mined tunnels. Individual tunnels, the Bílá Skála, Libeň, Balaběnka, Spojovací, Jarov and Malešice, are directly connected to each other, creating a large underground transport complex. In contrast to the previous solution, the route of the CCR and LLR route led newly under the surface in all localities important in terms of urban design and, therefore, negative influencing by excessive vehicular traffic and non-urban transport structures does not take place.

The basic layout within the entire proposed package of construction lots corresponds to habits established in the already operated part of the City Circle Road. The CCR and LLR roads are designed as local dual carriage distributor roads in the 2×2 thoroughfare lanes 3.5m wide configuration. The design speed on the main route is equal to 80km/h, whilst the speed 70km/h is prescribed for tunnels. The permitted speed of 50km/h is planned for locations of complicated traffic nodes. In tunnelled sections, an independent tunnel tube is planned for each direction of traffic. The height of 4.5m is planned for the vertical traffic clearance. Of course, there is safety and technology equipment complying with the latest standards there.

The package of construction lots is spatially coordinated with other important municipal, state, but also known private intentions in its surroundings, i.e. the second stage of the Vysočany Radial Road, the intention of the developing high-speed railway tracks in the area of Balaběnka and the completion of two intermediate railway stops U Kříže and Hostivař/Malešice.

The transport design has the capacity satisfying the demand derived from a Prague transport outlook prognosis, which is not at all conservative. With the outlook development intentions of the city taken into consideration, the intensities in sections featuring highest volumes of traffic amount to over 80 thousand vehicles bi-directionally per 24 hours. After the realisation, volumes of traffic will be reduced, for example in Čuprova Street from current ca 40 thousand vehicles per day to ca 13 thousand vehicles per day; in Povltavská Street from ca 29 thousand vehicles per day to 0 vehicles per day (Povltavská Street will be used as a promenade only for non-motorised transport), in Spojovací Street from ca 31 thousand vehicles per day to ca 19 thousand, in Úvalská Street from ca 25 thousand of vehicles per day to ca 6 thousand, in Zenklova Street from ca 22 thousand vehicles per day to ca 5 thousand and in V Holešovičkách Street from current ca 88 thousand of vehicles per day to ca 68 thousand.

Over 40km of non-motorised roads will originate within the framework of the project, in the first place on the CCR route, namely 11km of independent cycle ways, ca 12.5km of combined protected

Umístit takto rozsáhlou dopravní stavbu do městského prostředí, a namísto demolice umožnit novou urbanizaci, bylo možné pouze díky využití nejmodernějších technických prostředků a technologií podzemního stavitelství současné doby. V rámci celého tunelového komplexu je využito hned několika typů technologií výstavby tunelů.

Jako základní technologie je využito konvenčně ražených tunelů s předpokladem využití Nové rakouské tunelovací metody a klasických hloubených tunelů realizovaných do otevřené stavební jámy. Tyto technologie jsou doplněny již v Praze úspěšně využitou technologií tzv. čelně odtěžovaných tunelů (modifikovaná milánská metoda, nebo také Top&Down), kde je prostor tunelu odtěžován pod ochranou konstrukčních podzemních stěn a stropu, opět s cílem omezení časového i prostorového rozsahu záboru při výstavbě.

Speciální technologie, v takovémto rozsahu u nás poprvé, bude využita při realizaci tunelů s velmi nízkým nadložím podcházejících stávající drážní most na trati Praha hl. nádraží – Praha Libeň. Dvoupolový most s vysokým vytižením, v podstatě bez možnosti výluky, bude za provozované trati podcházen za pomoci mikrotuneláže metodou „pipe-roofing“ hned dvěma tunelovými tubusy.

Za zmínku stojí také využití patrového uspořádání tubusů tunelu v Zenklově ulici na Libeňské spojnici, nebo přechod říčky Rokytka tubusem „tunel“ jako mostní konstrukcí nad hladinou a související cyklostezkou.

Specifické budou jistě i místní podmínky dané geologickými a hydrogeologickými poměry. Počítat je tak třeba u tunelu Bílá skála se zkušenostmi ze sesuvu vzniklém v průběhu výstavby stávajícího železničního tunelu, nebo s velmi nízkým nadložím, dosahujícím i jen několik metrů, při podchodu stávající nebo v předstihu budované obytné zástavby u tunelů Jarovského a Malešického. Všechna tato specifika budou jistě velmi pestrým portfoliem jak k řešení v rámci vlastní dokumentace a následné realizace, tak rovněž jako potenciální zdroj pro budoucí články odborných časopisů, mj. Tunelu.

Jedním z nejtvrdějších „oříšků k rozlousknutí“ pro zpracovatelský tým byly nové dispozice mimoúrovňových křižovatek napojujících tunelovou trasu na povrchovou uliční síť. Územní plán i předchozí studie, vč. dokumentace EIA, se k této problematice stavěly velmi extravilánově, uvnitř „rostlého“ města tak vznikaly poměrně nevzhledné oblasti zmitajících se křižovatkových ramp, řadicích pruhů atd. Území křižovatkových uzlů tak byla jednak velmi špatně propustná pro ostatní složky dopravy, ale zároveň i velmi nepřehledná. Výrazný posun v zakomponování trasy MO+LS do území města umožnilo využití tzv. levých odpojovacích a připojovacích ramp z hlavní trasy MO na povrchovou síť. Tím bylo možno seskupovat připojení a odpojení k trase MO do jednoho prostoru a celkově výrazně zmenšit povrchový zábor stavby. Tento princip není zcela běžný u komunikací rychlostního typu, nicméně i v Praze je již dlouhodobě bez problémů provozován, u podzemních staveb např. v případě tunelu Mrázovka. Na dané téma proběhla s dotčenými složkami státní správy, dopravní policie i HZS poměrně široká diskuze, jejímž výsledkem byl požadavek v těchto případech navýšit délky připojovacích pruhů a vylepšit podmínky pro zrychlení a připojení k hlavní trase.

Výsledné, prakticky celotunelové, řešení MO+LS vyvolalo komplikované a časově náročné posuzování dopravních kapacit křižovatek pomocí analytických nástrojů mikrosimulací v programu PTV VISSIM. Výsledkem je však skutečnost, že finální řešení je dostatečně prověřeno jako technicky možné a kapacitně funkční.

ways and over 18km of cycling lanes on roads. In addition, over 7ha of new urban greenery areas and other 25ha of existing areas will be reclaimed to become new urban parks.

Placing such an extensive transport project into the urban environment and, in addition, allowing for new urbanisation instead of demolitions was possible only owing to the application of state-of-the-art technical means and techniques used currently in the underground construction industry. Several types of tunnel construction techniques are used within the framework of the entire complex of tunnels.

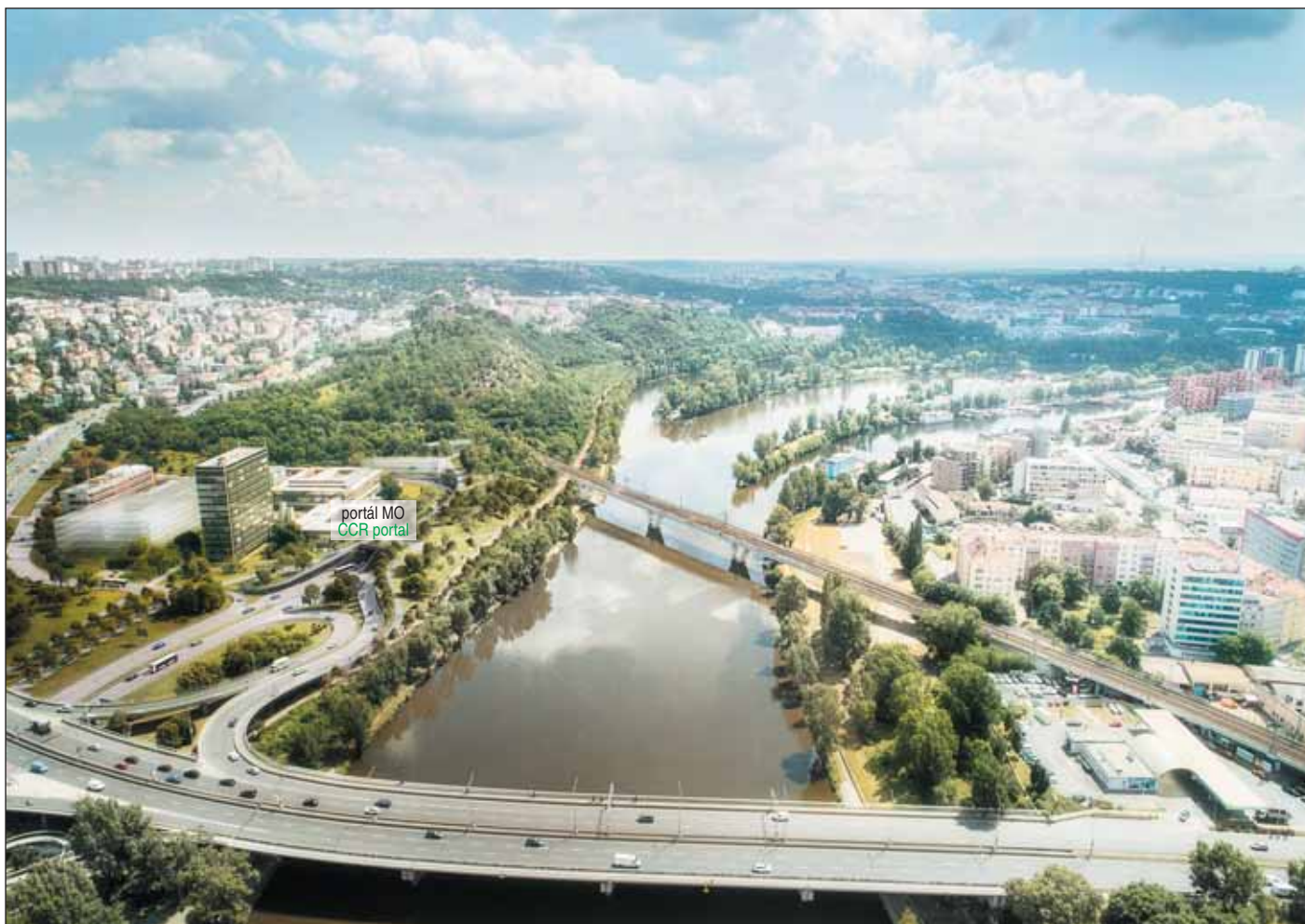
The fundamental method applied is conventional excavation of tunnels, with the assumption of the use of the New Austrian Tunnelling Method and classical cut-and-cover tunnels constructed in open construction pits. These techniques are supplemented by a technique already successfully used in Prague, the so-called cover-and-cut tunnels (the Modified Milan Method, or Top&Down Method), where the tunnel space is excavated under the protection of structural diaphragm walls and a roof deck, again with the objective to reduce the time-related and spatial scope of land acquisition during the course of construction.

A special technique will be used to that extent for the first time in the Czech Republic. It will be applied to the realisation of tunnels with very low overburden, passing under an existing railway bridge on the Praha hlavní nádraží – Praha Libeň track. The highly burdened double-span bridge, in substance without the possibility of closing the line to traffic, will be passed under the operating track by two tunnel tubes, using the “pipe-roofing” microtunnelling method.

Stacked configuration of tunnel tubes in Zenklova Street on the Libeň Link Road or the crossing under the Rokytka River by a “tunnel” tube forming a bridge structure above the water surface and a related cycling track are also worth mentioning.

Even the local conditions given by geological and hydrogeological circumstances will certainly be specific. It is, for example, necessary at the Bílá Skála tunnel to take into account the experience from the landslide which originated during the course of the construction of the existing railway tunnel, or the very shallow overburden with the thickness reaching only several metres at the passage under the existing or in advance developed residential areas at the Jarov and Malešice tunnels. All of those specifics will certainly be a very varied portfolio not only for designing within the framework of the documentation itself, but also as a potential source for future papers in professional journals, among others TUNEL journal.

The new layouts of grade-separated intersections connecting the tunnel route to the at-grade street network were the hardest nuts to be cracked by the working team. The urban master plan and preceding studies, including the EIA documents, took a stand from the non-build-up area position. Relatively unsightly areas of entangling intersection ramps, vehicle turning lanes etc. originated inside the “living” city. The areas of the intersections were not only very poorly permeable for other components of traffic, but they were also very confused. Significant shifting in the incorporation of the CCR+LLR into the territory of the city was allowed for by the use of the co-called left-hand off-ramps and on-ramps leading from the main route of the CCR to the at-grade road network. It made arranging of the CCR on-ramps and off-ramps into one space, thus to generally significantly reducing the plan area of permanent works. This principle is not quite common for express-types of roads, but it has been applied in Prague for a long time without problems, e.g. to the Mrázovka tunnel. This theme was relatively widely discussed with components of the affected state administration, the Traffic Police and the Fire Rescue Service. It resulted into the requirement for increasing the length of the acceleration lanes and improving the conditions for acceleration and connection to the main route



Obr. 2 Vizualizace prodloužení tunelu Bílá skála v sousedství areálu MFF UK na Pelc-Tyrolce

Fig. 2 Visualisation of the Bílá Skála tunnel extension in the neighbourhood of the grounds of the Faculty of Mathematics and Physics of the Charles University at Pelc-Tyrolka

### STRUČNÝ POPIS TRASY PO LOKALITÁCH

V této kapitole je stručně popsáno vedení trasy nového řešení MO+LS, a tedy i nový rozsah tunelových částí. Pro porovnání rozsahu změn je vždy doplněn vztah k původnímu návrhu z předchozích studijních výstupů, mj. k technickému podkladu pro zadání DÚR (TP 2016). Celková délka souboru staveb se nemění, koncové napojovací body zůstávají zachované. Změny nastávají v dílčích úpravách směrového řešení, ale především ve vedení trasy v jiné výškové úrovni, v podzemí.

V návaznosti na provozovanou severozápadní část MO ve směru provozního staničení okruhu začíná soubor staveb MO+LS v oblasti mimoúrovňové křižovatky (MÚK) Pelc-Tyrolka (křížení ulice V Holešovičkách a Povltavská v oblasti mostu Barikádníků) a pokračuje východním směrem.

Povrchové řešení trasy zde přechází do podpovrchového vedení v tunelovém úseku Bílá skála (obr. 2). V aktualizovaném návrhu byl zvětšen rozsah tunelů portálové oblasti Pelc-Tyrolka o překrytou a ozeleněnou nadzemní tunelovou část v sousedství areálu MFF UK v ulici Povltavská. Je tak zajištěna ochrana areálu před hlukem a umožněna žadaná cyklo a pěší propojení areálu s Vltavskou kotlinou a oblastí Holešovic, stejně jako spojení přírodní památky Bílá skála s Vltavským meandrem, podél kterého vznikne Povltavská promenáda, propojující cyklo a pěší trasy od severu Prahy přes Troju na východ podél Rokytky.

Místo původně uvažovaného vedení kapacitní dopravní trasy MO-B (MO směr Balabenka) podél Vltavy po ulici Povltavské,

The resultant, practically completely tunnelled solution to the CCR+LLR induced complicated and time-intensive assessing of the carrying capacities of intersections using analytical tools, microsimulation using the PTV VISSIM software. But the result is the fact that the final solution has been sufficiently verified as technically feasible and functional as far as capacity is concerned.

### BRIEF DESCRIPTION OF THE ROUTE BY LOCATIONS

This chapter briefly describes the route of the new design for the CCR+LLR and thus the new scope of tunnelled sections. This principle is not quite common for roads with limited access, but it has been applied for a long time also in Prague without problems. The relation to the original design from the preceding study outputs, among others the technical grounds for issuance of the construction permit (Technical Specifications TP 2016), is always added for the reason of comparing the extent of the changes. The total length of the package of tunnel construction lots is not changed, the edge contact points are retained. Changes occur in partial modifications of the horizontal alignment, but mainly the vertical alignment led at other level, underground. Following the operated north-western part of the CCR in the direction of the operating chainage of the circle road, the package of the CCR+LLR construction lots begins in the area of the Pelc-Tyrolka GSI (crossing of V Holešovičkách Street with Povltavská Street in the area of Barikádníků Bridge) and continues eastward.

The at-grade route design passes here to the underground route in the Bílá Skála tunnel section (see Fig. 2). In the updated design, the

a provozně a bezpečnostně náročného jednosměrného tunelu MO-A (směr Pelc-Tyrolka), jsou oba směry v novém návrhu vedeny dvěma souběžnými, samostatnými raženými tubusy pod Bílou skálou.

V oblasti Košinky a Horova náměstí stavba pokračuje hloubeným tunelovým úsekem tunelů Bílá skála, který se přimyká k železniční trati „Holešovické přeložky“. V oblasti připojovací rampy na MO-B z ulice Zenklova (směr Pelc-Tyrolka) a odpojovací rampy z MO-A na ulici Čuprova, přecházejí tunely Bílá skála v hloubený tunelový úsek Balabenka.

Trasa MO v aktualizovaném řešení tunelově podchází ulice Primátorskou a Zenklovu oproti původně uvažovaným nadzemním mostním vedením MO. Stávající silniční mosty na Povltavské ulici budou odstraněny.

Hloubený tunelový úsek Balabenka nejprve mimoúrovňově kříží mostní železniční koridor „Holešovické přeložky“ a následně podpovrchově pokračuje cca ve stopě stávající ulice Čuprova. Kompletně se tak mění řešení původně uvažující povrchové vedení MO v tomto úseku s připojením Libeňské spojky, využívající stávajících mostních objektů. V nové koncepci je připojení LS uvažováno rovněž podpovrchově v hloubených tunelových průpletech. Aktualizovaný návrh tak umožňuje ulici Čuprova koncipovat jako městskou třídu dovolující úrovně vypořádat veškeré místní vztahy vč. MHD, pěší a cyklo dopravy. Řešení předpokládá demolici všech stávajících mostních objektů.

V oblasti Labutky trasa MO kříží pod stávajícím mostním objektem železniční trati Praha – Turnov vodoteč Rokytka. Tubusy tunelů Balabenka Rokytku přecházejí jako uzavřená mostní konstrukce. Na povrchu tubusu stále zůstává zklidněná Čuprova ulice pro místní dopravní vztahy. V místě křížení MO s Rokytkou tak vznikají čtyři úrovně dopravních tras: nábreží Rokytky, MO v tunelu Balabenka, Čuprova ulice na stropě tunelu a stávající železniční trať na mostě.

Trasa MO dále pokračuje jižním směrem hloubenými tunely v dopravním uzlu Balabenka, tj. podchází křižovatku Na Balabence (obr. 3), ulice Na Žertvách, Sokolovskou, Českomoravskou a směřuje dále do koridoru ulice Spojovací, kde MO podchází stávající železniční most, resp. podjezd v ulici Spojovací mělkou ražbou realizovanou speciální technologií „pipe roofing“ využívající předstihové mikrotuneláže. V oblasti Balabenky vzniká rozsáhlý systém rozpletů tunelových ramp respektující hlavní

scope of tunnels in the Pelc-Tyrolka portal area was increased by adding an above-ground tunnel section overlaid and covered with greenery in the neighbourhood of the Faculty of Mathematics and Physics of the Charles University in Povltavská Street. In this way, the protection of the grounds against noise is ensured and the required cycling and pedestrian connection of the grounds to the Vltava Basin and the area of Holešovice is allowed for, as well as connection of the Bílá Skály natural monument to the Vltava meander, along which the Povltavská Promenáda connecting the cycling and pedestrian track from the north of Prague through Troja to the east along the Rokytka Brook leads.

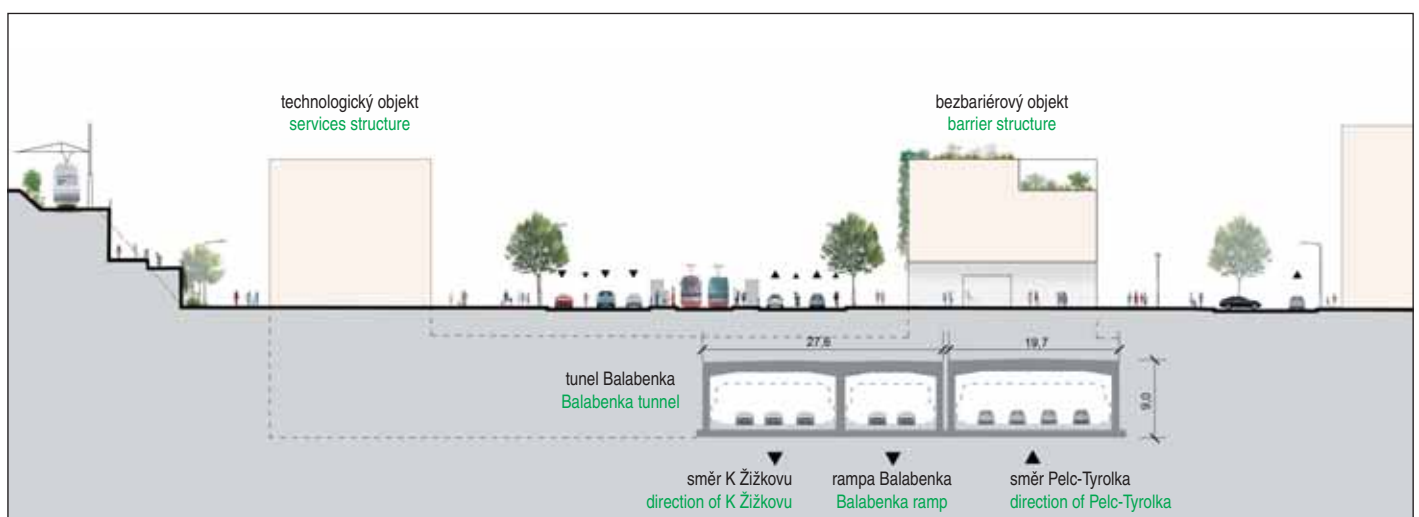
Instead of the originally considered leading of the high-capacity transport route of the CCR-B (CCR direction of Balabenka) along the Vltava along Povltavská Street and the unidirectional MCCR-A tunnel (direction of Pelc-Tyrolka), both directions of traffic are led through two parallel, independent mined tunnel tubes under Bílá Skála.

In the area of Košinka and Horovo Náměstí square, the project continues by a cut-and-cover tunnel section of the Bílá Skála tunnels, which adjoins railway track of the “Holešovice Diversion Track”. In the area of the on-ramp to the CCR-B from Zenklova Street (direction of Pelc-Tyrolka) and the off-ramp from the CCR-A to Čuprova Street, the Bílá Skála tunnels pass to the Balabenka cut-and-cover section.

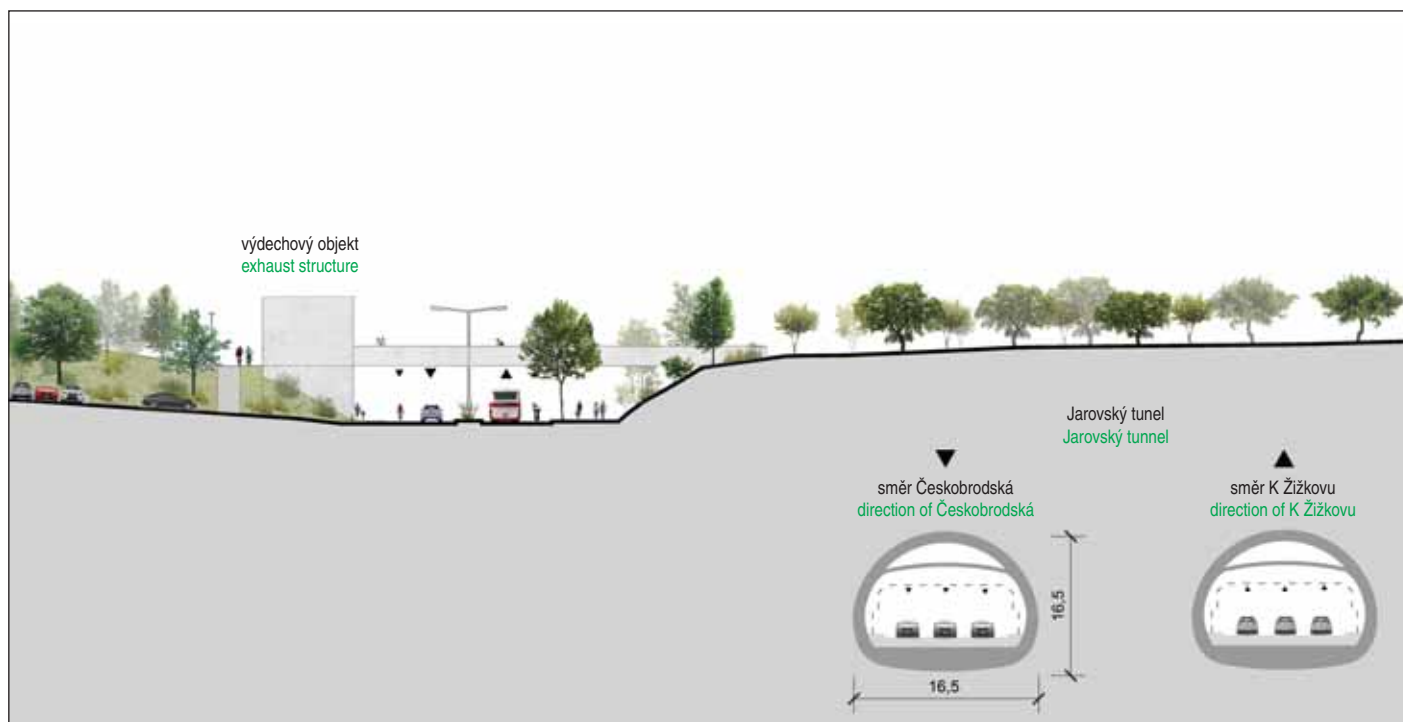
In the updated design, the CCR route passes under Primátorská and Zenklova Streets instead of the originally assumed route leading the CCR along a bridge. The existing road bridges in Povltavská Street will be removed.

The Balabenka cut-and-cover tunnel section first crosses on separated grade the “Holešovice diversion track” (a local railway corridor on a bridge) and subsequently, continues underground ca along the footprint of existing Čuprova Street. It means that the design originally assuming at-grade alignment of the CCR in this section, with the connection of the Libeň Link Road, using existing bridge structures, is completely changed. In the new concept, the connection of the LLR is also to be underground in cut-and-cover tunnel weavings. The updated design therefore allows for Čuprova Street to be conceived as an urban avenue allowing for at-grade coping with all local relations including the urban mass transit and pedestrian and cycling traffic. The solution assumes demolition of all existing bridge structures.

In the area of Labuška vineyard, the CCR route crosses the Rokytka Brook under an existing bridge structure on the Prague – Turnov



Obr. 3 Příčný řez v prostoru Balabenky  
Fig. 3 Cross-section in the area of Balabenka



Obr. 4 Příčný řez profilem ulice Spojovací s Jarovským tunelem pod vrchem Třešňovka  
 Fig. 4 Cross-section through Spojovací Street with the Jarov tunnel under Třešňovka Hill

směry požadovaných napojení na nadřazenou komunikační síť. Celý dopravní uzel Balabenka tak v nové koncepci tvoří systém povrchových průsečných světelně řízených křižovatek a napojení tunelových ramp, vzájemně se ovlivňujících a společně řízených. Dopravní systém celého uzlu Balabenka byl takto řešen s tím, že jsou zajištěny všechny dopravní vazby, vč. místních vztahů. Zcela inovativní řešení v oblasti Balabenky, odstraňující stávající estakády vedením MO v tunelech, a výhodným směřováním hlavních dopravních intenzit do tunelových ramp u Českomoravské, zajistí možnost pojmout oblast významného dopravního uzlu i v prostorově stísněných poměrech. Navíc umožňuje v případě potřeby připojit i pokračování Vysočanské radiály, a to opět v podzemní úrovni. Na Balabence vzniká jen přestupní terminál zastávek tramvajových a autobusových linek.

Návazný úsek pokračuje jižním směrem hloubenými tunely umístěnými v ulici Spojovací přímo navazujícími na tunely pod podjezdem. V prostoru Spojovací, pod Vysočanským náměstím, byly nově navrženy výjezdové rampy z obou směrů MO, připojující se na Spojovací.

Dále trasa MO vede tunelovým úsekem nazvaným tunelem Spojovací, tvořeným hloubenými a čelně odtěžovanými tunely v koridoru stávající ulice Spojovací. Tento tunelový úsek končí v MÚK K Žižkovu a přechází v Jarovský tunel.

MÚK K Žižkovu byla nově minimalizována na dvojici ramp. Využitím možnosti levého odpojení a připojení na MO došlo k semknutí tunelových ramp do jedné společné osy umístěné mezi tunely, a tím i zmenšení zásahu do oblasti Třešňovky i protilehlého zalesněného svahu. Oproti předchozímu řešení je nájezd na MO-A zrušen a přesunut do MÚK Balabenka.

Od MÚK K Žižkovu pokračuje MO k MÚK Českobrodská Jarovským tunelem. Ražným tunelem podchází oblast vrchu Třešňovka (obr. 4), obytné areály Zeleného města a areály Metropolitní univerzity Praha, Střední odborné školy Jarov a Střední odborné školy logistických služeb.

railway track. The Balabenka tunnel tubes cross the Rokytká Brook as a closed bridge structure. Čuprova Street with eased traffic still remains on the surface of the tunnel tube to be used for local traffic relations. Thus, four levels of traffic routes originate in the location of the CCR crossing with the Rokytká Brook: Rokytká embankment, CCR in the Balabenka tunnel, Čuprova Street on the tunnel cover desk and the existing railway track on the bridge.

The CCR route then continues southwards through cut-and-cover tunnels at the Balabenka traffic node, i.e. passes under the Na Balabence intersection (see Fig. 3), Na Žertvách, Sokolovská and Českomoravská Streets and heads further to the corridor of Spojovací Street, where the CCR passes under an existing railway bridge, respectively an underpass in Spojovací Street, by shallow tunnel excavation using the special “pipe roofing” method with advance microtunnelling. An extensive system of junctions of tunnel ramps respecting the main directions of the required connections to the higher-ranking road network originates in the area of Balabenka. In the new concept, the entire Balabenka traffic node forms a system of at-grade, lights-controlled intersections and connections of the interacting and jointly managed tunnel ramps. The traffic system of the whole Balabenka node was solved in this way, with all traffic relations including local relations secured. The completely innovative solution for the Balabenka area, removing existing viaducts by leading the CCR through tunnels and advantageous heading of the main traffic volumes to tunnel ramps at Českomoravská, will ensure the possibility of containing the whole area of the important traffic node even in spatially restricted conditions. In addition, if necessary, it allows for connecting even the continuation of the Vysočany Radial Road, again at underground level. Only a transfer terminal of stops of tramway and bus lines originates at Balabenka.

The follow-up section continues southwards through cut-and-cover tunnels located in Spojovací Street, directly linking to the tunnels under the underpass. Off-ramps from both CCR directions connecting to Spojovací Street have been newly proposed in the space of Spojovací Street, under Vysočany Square.



MÚK Českobrodská byla řešena do zcela nového uspořádání, kdy se pomocí využití zpětných ramp pro připojení i odpojení MO podařilo vytvořit pouze jednu povrchovou světelně řízenou průsečnou křižovatku na Českobrodské ulici a veškeré dispoziční změny v tunelech soustředit pouze do hloubené tunelové části trasy. Došlo k částečnému posunu trasy MO východním směrem tak, aby v celé délce bylo možné zachovat stávající historickou stopu Českobrodské ulice a současně vytvořit prostor pro budoucí připojení Jarovské třídy.

Navazující úsek trasy MO je opět podpovrchový. Tvoří ho tunel Malešický, který nejprve svou raženou částí podchází oblast zahrádkářské osady Malešice, stávající zástavby vilového charakteru a historické zástavby v okolí Malešického náměstí.

Jižně od Malešického náměstí trasa přechází do hloubeného tunelového úseku. V oblasti od Malešického náměstí po MÚK Černokostecká se v aktualizované koncepci trasa půdorysně přimyká ke koridoru železniční trati Malešice – Vršovice, s cílem minimalizace zbytkových ploch mezi železnicí a MO. Spolu s opětovným využitím levých připojení a odpojení tunelových ramp, neboť v této poloze by již původní extravilánový tvar křižovatky nebylo možné použít, vznikla jedna průsečná křižovatka Černokostecké ulice s rampami MO. MÚK Černokostecká tak doznala rovněž zcela zásadního přepracování (obr. 5). Do této křižovatky se navíc přes povrchové úseky ramp podařilo připojit jednak přemístěnou ulici Dřevčickou, zároveň i prodlouženou

The CCR route further leads along the tunnel section, through a tunnel called Spojovací, formed by both cut-and-cover and cover-and-cut tunnels in the corridor of the existing Spojovací Street. This new tunnel section ends at the K Žižkovu GSI and passes into the Jarov tunnel.

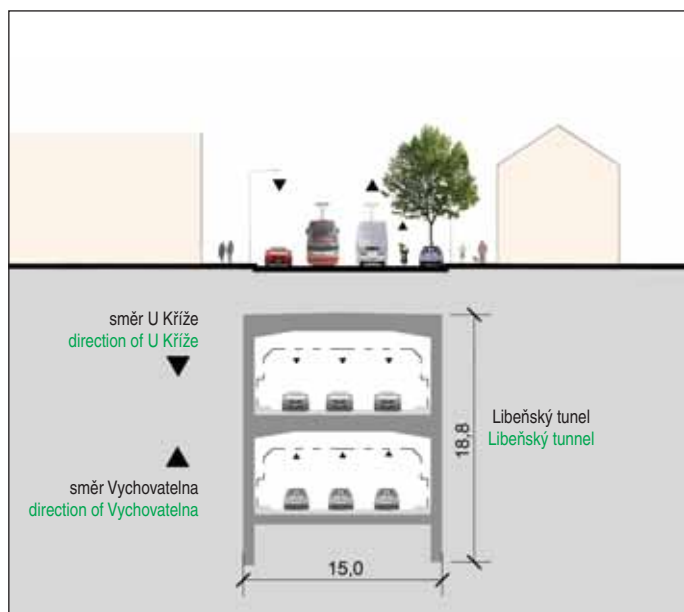
The K Žižkovu GSI was newly minimised to a couple of ramps. The use of the possibility of left-hand disconnection and connection to the CCR allowed for joining the tunnel ramps on one common longitudinal axis located between the tunnels, thus reducing the impacts on the area of Třešňovka and the adjacent opposite wooded slope. In contrast with the preceding solution, the approach to the CCR-A has been cancelled and was shifted to the Balabanka GSI.

From the K Žižkovu GSI, the CCR continues to the Českobrodská GSI through the Jarov tunnel. It passes under the area of Třešňovka Hill (see Fig. 4), residential areas of the Green City, grounds of the Metropolitan University in Prague, the Secondary Technical School Jarov and the Secondary Vocational School of Logistics Services through a mined tunnel.

The Českobrodská GSI was designed for a completely new layout, where the use of on-ramps and off-ramps allowing return to the opposite direction of traffic on the CCR allowed for the creation of only one at-grade, lights-controlled crossing intersection on Českobrodská Street and concentration of all changes in the configuration only to the cut-and-cover part of the route. The CCR route was partially shifted eastwards so that it was possible to maintain the existing historical



Obr. 5 Vizualizace MÚK Černokostecká s trasou Městského okruhu přimknutou k železniční trati  
Fig. 5 Visualisation of the Černokostecká GSI with the CCR route adjoining the railway line



Obr. 6 Příčný řez Libeňským tunelem s patrovým uspořádáním v ulici Zenklova

Fig. 6 Cross-section through the Libeň tunnel with stacked configuration in Zenklova Street

ulici V Olšínách. Vznikl tak jeden dopravně vysoce efektivní uzel, umožňující jak vazby z a na MO, tak i místní povrchové vazby mimo obytné území. Oproti původnímu řešení jsou portály hlavní trasy nově situovány jižně od MÚK Černokostecká.

MÚK V Olšínách byla zcela vypuštěna náhradou prodloužením ulice V Olšínách do MÚK Černokostecká. Tím došlo ke vhodnější distribuci vozidel v uliční síti a opuštění potřeby demolice obytných domů v křižovatce V Olšínách/Úvalská.

Navazuje povrchový úsek MO přecházející mostními objekty jednak novou stopu ulice V Olšínách, jednak železniční trať Malešice – Vršovice a povrchovou trasu metra u Depa Hostivař. Trasa

footprint of Českobrodská Street and, at the same time, the space for the future connection of Jarovská Avenue.

The following section of the CCR route is again underground. It is formed by the Malešice tunnel, the mined part of which first passes to the area of the gardening settlement of Malešice, existing villa-character houses and historic buildings in the Malešice Square surroundings.

The route passes south of Malešice Square to a cut-and-cover section the route adjoins in the ground plan the corridor of the Malešice – Vršovice rail line in the updated concept in the area from Malešice Square up to the Černokostecká GSI, with the objective of minimising the remaining areas between the railway track and the CCR. Only one crossing-type intersection of Černokostecká Street with CCR ramps originated together with the repeated use of left-hand connections of on-ramps and off-ramps because of the fact that the original configuration of the intersection designed for the non-rural area could not be used in this location. The Černokostecká GSI therefore also experienced fundamental redesigning (see Fig. 5). In addition, the designer managed to connect the relocated Dřevčická Street and also the extended V Olšínách Street to this intersection through the at-grade sections of the ramps. In this way, one node highly effective from the point of view traffic originated. It allows for both the relations from and to the CCR and the local at-grade relations outside the residential area. In contrast with the original design, the portals of the main route are located south of the Černokostecká GSI.

The V Olšínách GSI was completely omitted and was replaced by the extension of V Olšínách Street to the Černokostecká GIS. Owing to this fact, the distribution of vehicles in the street network was improved and the need for demolition of residential buildings at the V Olšínách/Úvalská Streets was abandoned.

The at-grade section of the CCR follows. It runs above the new footprint of V Olšínách Street on bridge structures and the Malešice – Vršovice railway track and the at-grade route of metro at the Hostivař Depot. The CCR route continues eastwards, in parallel with the metro testing track, and connects to the existing Southern Link Road and the Štěrboholy Radial Road.



Obr. 7 Vizualizace výjezdových a vjezdových ramp Libeňského tunelu na Vychovatelně  
Fig. 7 Visualisation of off-ramps and on-ramps of the Libeň tunnel at Vychovatelna

Tab. 1 Základní délkové charakteristiky tunelů  
Table 1 Basic length-related characteristics of the tunnels

soubor staveb MO a LS, tubusy hl. trasy package of CCR and LLR construction lots, main route tubes									
stavba constr. lot	stavba č. 0081 constr. lot No. 0081		stavba č. 0094 constr. lot No. 0094		stavba č. 8313 constr. Lot No. 8313				celkem (m) total (m)
tubus tube	MO-A (m) MO-A (m)	MO-B (m) MO-B (m)	MO-A (m) MO-A (m)	MO-B (m) MO-B (m)	MO-A (m) MO-A (m)	LS-A (m) LS-A (m)	MO-B (m) MO-B (m)	LS-B (m) LS-B (m)	
TP 2016 type 2016									9 699 9699
hloubené tunely cut-and-cover tunnels	325 325	600 600	1 380 1380	1 390 1390	x x	844 844	x x	864 864	5 403 5403
ražené tunely mined tunnels	1 160 1160	x x	1 573 1573	1 563 1563	x x	x x	x x	x x	4 296 4296
% ražených tunelů % of mined tunnels	56 56		53 53		0 0				44 44
ÚDS 2019 ÚDS 2019									16 818 16818
hloubené tunely cut-and-cover tunnels	831 831	885 885	2 655 2655	2 649 2649	774 774	1 344 1344	740 740	1 327 1327	11 115 11115
ražené tunely mined tunnels	1 220 1220	1 160 1160	1 658 1658	1 665 1665	x x	x x	x x	x x	5 703 5703
% ražených tunelů % of mined tunnels	58 58		39 39		0 0				34 34

MO dále pokračuje východním směrem v souběhu se zkušební kolejí metra a v MÚK Rybníčky se napojuje na stávající Jižní spojku a Štěrboholskou radiálu.

MÚK Rybníčky byla v novém návrhu dispozičně upravena s cílem vhodněji umístit vlastní trasu MO, a to oba jízdní směry společně vést oddáleně od stávající zástavby, umožnit i chybějící dopravní vazby z Rabakovské ulice, resp. Hostivařské spojky, na oba směry MO i Štěrboholskou radiálu a zachovat nebo doplnit místní vazby v území. Úpravou dispozice, bez zásahu do již existujících staveb Městského okruhu a Štěrboholské radiály, bylo dosaženo ponechání stávající přímé trasy Rabakovské ulice, vč. rozvinutí vyhrazených BUS pruhů. Pomocí dvou světelně řízených křižovatek na Rabakovské je umožněno připojení i odpojení ze všech směrů nadřazeného systému do Hostivařské spojky, což vzhledem k jejímu trasování mimo obytnou zástavbu odlehčí kapacitně velmi přetížené křižovatce Černokostelecká/Průmyslová.

Vraťme se nyní ještě ke stavbě Libeňské spojky. I tato stavba doznala v rámci aktualizace návrhu jistých změn.

Libeňský tunelový úsek navazuje nově v hloubených tunelových rozpletech v oblasti Labučky na tunel Balaběnka. Trasa hloubených tunelů sleduje nejprve koridor ulice Čuprova, přechází do nově koncipované MÚK U Kříže a pokračuje dalším hloubeným a čelně odtěžovaným úsekem v ulicích Zenklova a Vosmíkových až k MÚK Vychovatelná, kde navazuje na stávající povrchovou komunikační síť. V koridoru ulice Zenklova je s ohledem na prostorové podmínky využito vedení tunelů v patrovém uspořádání, při využití technologie tunelů čelně odtěžovaných s konstrukčními podzemními stěnami (obr. 6).

V prostoru MÚK U Kříže je v povrchové úrovni nově navržena průsečná křižovatka významných ulic Prosecká, Čuprova, resp. v těsné blízkosti i Zenklova. V podzemní úrovni pak dochází k propojení Městského okruhu a Libeňské spojky.

MÚK Vychovatelná napojuje Libeňskou spojku do prostoru křížení ulic Liberecká (Prosecká radiála) a Zenklova a zachovává jejich stávající možnosti vzájemného propojení (obr. 7).

The layout of the Rybníčky GSI was modified in the new design with the objective of placing the CCR route more appropriately by leading both directions of traffic jointly at some distance from existing buildings, allowing for the missing traffic relations from Rabakovská Street (or the Hostivař Link Road), to both directions of the CCR and the Štěrboholy Radial Road. Maintaining or adding local relations in the area and keeping the existing direct route of Rabakovská Street including developing exclusive BUS lanes was achieved owing to the change in the layout without intervening into the already existing structures of the CCR and the Štěrboholy Radial Road. Connecting and disconnecting of all directions of the higher-grade system to the Hostivař Link Road is allowed for by means of two lights-controlled intersections on Rakovská Street. It will ease the vehicular traffic at the Černokostelecká/Průmyslová intersection, which is very overloaded in terms of capacity.

Let us return now to the construction of the Libeň Link Road. This construction has also experienced certain changes within the framework of updating the designs.

The Libeň section of the tunnels newly connects to the Balaběnka tunnel at cut-and-cover tunnel bifurcations in the area of Labučka. The route of the cut-and-cover tunnels follows first the corridor of Čuprova Street, passes to the newly drawn up U Kříže GSI and continues through another cut-and-cover and cover-and-cut section in Zenklova and Vosmíkových Streets up to the Vychovatelná GSI, where it links to the existing at-grade road network. Stacked configuration of tunnels is used in the corridor of Zenklova Street. The cover-and-cut tunnelling method with structural diaphragm walls (see Fig. 6) is used in the corridor with respect to the spatial conditions.

In the space of the U Kříže GSI, a new crossing-type of intersection between Prosecká and Čuprova Streets, or also in close proximity to Zenklova Street, is designed. The CCR connection with the Libeň Radial Road takes place at the underground level.

The Vychovatelná GSI connects the Libeň Link Road to the space of the intersection of Liberecká Street (the Prosek Radial Road) and Zenklova Street, maintaining their current possibilities of interconnectivity (see Fig. 7).

## ZÁVĚR

Popisovaná část Městského okruhu a Libeňské spojky po svém dokončení nabídne novou alternativní trasu, např. oproti Severojižní magistrále, s nabídkou plynulejšího a rychlejšího spojení městem, nejen ve směru sever-jih (a naopak). Především pak ale nabídne trasu bezpečnější a ohleduplnější k životnímu prostředí, než je tomu u stávající přetížené uliční sítě. Celý dokončený Městský okruh, jakožto součást radiálně-okružního systému, zajistí objízdnu komunikaci širšího centra města, takže bude možné významně omezit průjezdnou dopravu centrem, preferovat hromadnou dopravu, vč. dopravy pěší a cyklistické a přistoupit k aktivní regulaci pro město zbytné individuální automobilové dopravy.

Vzhledem ke skutečnosti, že oba záměry Městský okruh a Libeňská spojka mají platné stanovisko EIA, veškeré úpravy řešení probíhaly v takovém duchu, aby bilanci vlivů posuzovaných v EIA vylepšovaly. V tuto chvíli tak mohou plynule navázat práce na očekávané DÚR, s cílem získat ÚR v rozmezí let 2021–2022. Kromě prací na vlastní DÚR v současné době probíhá i předběžný geotechnický průzkum. Na druhou stranu, jak je u podobných staveb zvykem, je nanejvýše jisté, že v průběhu další přípravy dojde k dalším úpravám a změnám vyvolaným požadavky mj. městských částí. Požadavky dotčených městských částí většinou nesměřují toliko do vlastního řešení stavby, ale spíše k jejímu rozšiřování o požadavky vyřešení dalších problémů v okolí. I proto zde není uvedena předpokládaná odhadovaná výše nákladů stavby, která jistě přesáhne 50 mld. Kč. Protože technickým, urbanistickým, ale i politickým cílem dokončení Městského okruhu je dotvořit, či alespoň umožnit dotvoření celého souvisejícího území, lze očekávat pozitivní přístup na straně investora, což může vést k dalšímu vývoji ceny směrem nahoru.

Přes dlouhodobý odpor části pražské, spíše politicky angažované veřejnosti, nastala v důsledku úpravy koncepce řešení MO poněkud nová a pro stavbu příznivá situace, kdy napříč pražským politickým spektrem existuje shoda na navrženém řešení i požadavek soubor staveb MO+LS co nejrychleji dokončit. Společně lze doufat, že tento zcela výjimečný dopravní a tunelářský počín bude ku prospěchu všech obyvatel a návštěvníků Prahy s více než půl milionem dotčených obyvatel.

Největším rizikem pro projektovou přípravu a úspěšnou budoucí realizaci by bylo další odkládání výstavby a váhání nad neexistujícími variantami trasování MO+LS. Za riziko se naopak nemusí považovat dosud nejasný model financování, protože teprve dobře připravená, a do detailu domyšlená stavba, může přesvědčit jak stát, tak případné financující ústavy o realizovatelnosti záměru.

*Ing. PAVEL ŠOUREK, SATRA, spol. s r.o.,*

*Ing. ALEŠ MERTA, PUDIS a.s.,*

*Ing. LUKÁŠ GRÜNWARD, SATRA, spol. s r.o.*

Recenzoval *Reviewed:* Ing. arch. Jan Kasl

## CONCLUSION

The part of the City Circle Road and the Libeň Link Road described in the paper will offer a new alternative route after its completion, for example, in comparison with the North-Western Backbone Road, it will offer more fluent and faster connection through the city, not only in the north-south direction (and opposite). In the first place, it will offer a route which will be safer and more considerate to the environment than it is at the current overloaded street network. The whole completed City Circle Road as a part of the radial-circular system will provide a route bypassing the wider centre of the city. Therefore it will be possible to significantly reduce the volume of transit traffic through the centre, prefer mass transit, including pedestrian and cycling traffic, and proceed to active regulation of individual vehicular traffic which is not necessary for the city.

With respect to the fact that both the City Circle Road and the Libeň Link Road intentions have received valid EIA assessment, all modifications of the design proceeded in a spirit of improving the balance of impacts described in the EIA. At the moment, the work on the awaited building location permit can fluently continue with the objective to obtain the zoning and planning decision in 2021–2022. Apart from the work on the location permit, continuous geotechnical investigation is currently being carried out. On the other hand, as it is customary for similar projects, it is most certain that other modifications and changes induced, among others, by requirements of city districts will follow. Requirements of the affected city districts are not usually directed solely to the construction design itself, but rather to its expansion by adding requirements for solving other problems in the surroundings. This is one of the reasons why the estimated cost of construction, which will certainly exceed 50 billion CZK, is not presented here. Because the technical, town planning and also political objective is to complete the City Circle Road, or at least allow for completing the whole affected landscape, it is possible to expect positive attitude on the side of the project owner, which can lead to developing the construction cost further upwards.

Despite long-standing resistance of a part of the rather politically engaged public in Prague, a rather new situation, favourable for the situation of the project developed as a result of the modification of the concept of the CCR design. Agreement exists across the political spectrum regarding the proposed solution and the requirement for the package of the CCR+LLR construction lots to be completed as quickly as possible. Together, it is possible to hope that this absolutely exceptional traffic and tunnelling project will benefit all Prague residents and visitors with over half a million people affected.

The biggest risk for the design preparation and successful future implementation would be further postponement of construction works and hesitation over non-existent variants of the CCR+LLR route. Conversely, a model of funding that is still unclear is not considered a risk because only a well prepared and elaborate construction can convince both the state and funding institutes, if any, of the feasibility of the project.

*Ing. PAVEL ŠOUREK, SATRA, spol. s r.o.,*

*Ing. ALEŠ MERTA, PUDIS a.s.,*

*Ing. LUKÁŠ GRÜNWARD, SATRA, spol. s r.o.*

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] *Urbanisticko-dopravní studie dokončení Městského okruhu (UDS)*. SATRA, PUDIS, METROPROJEKT, MOTT MACDONALD, JK ARCHITEKTI, 2019
- [2] *Dokumentace vlivů stavby na životní prostředí (EIA) souboru staveb MO+LS*. SATRA s.r.o., Mott MacDonald Praha s.r.o., Envisystem s.r.o., 2010
- [3] ŠOUREK, P. *Tunelové stavby pro dokončení Městského okruhu v Praze*. *Tunel*, 2/2011

# GEOTECHNICKÝ MONITORING NA STAVBĚ BEZBARIÉROVÉHO ZPŘÍSTUPNĚNÍ STANICE METRA KARLOVO NÁMĚSTÍ

## GEOTECHNICAL MONITORING OF CONSTRUCTION OF STEP-FREE ACCESS TO KARLOVO NÁMĚSTÍ METRO STATION

RADOVAN CHMELAR, PAVEL TŮMA, TOMÁŠ MIKOLÁŠEK, MICHAELA GUBÁNIOVÁ

### ABSTRAKT

Článek pojednává o geotechnickém monitoringu bezbariérového zpřístupnění stanice metra Karlovo náměstí v Praze, která je nyní ve výstavbě. Detailně jsou zmíněny inženýrskogeologické podmínky, které byly zastiženy při hloubení šachet i ražbě přestupní chodby. Z měření geotechnického monitoringu jsou prezentovány výsledky konvergenčního měření na výztuži výrubů, měření poklesu terénu i přilehlé zástavby. Zmíněné je i konvergenční měření v provozovaných tunelech stanice metra Karlovo náměstí, měření hladiny podzemní vody v blízké studni a také tenzometrické měření na provizorních podpůrných konstrukcích. V tomto článku je představen i nový informační systém geotechnického monitoringu SIISEL, který je zde poprvé použit.

### ABSTRACT

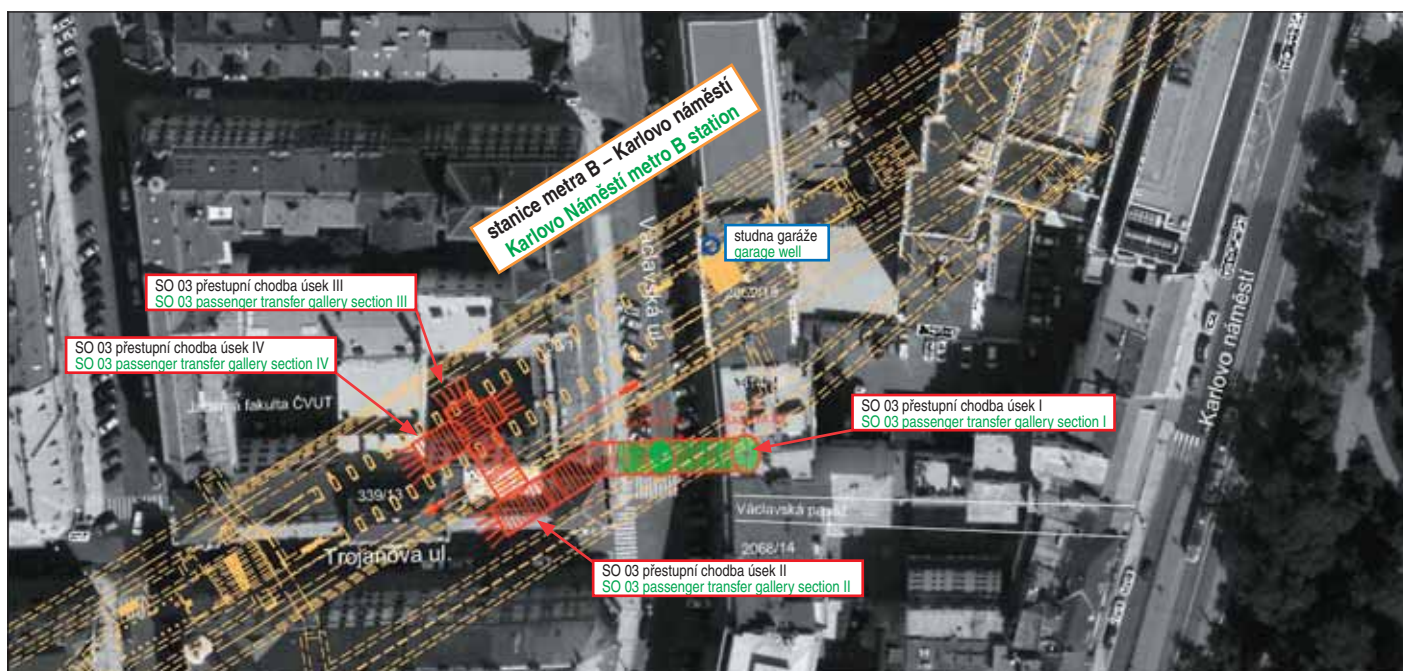
The paper deals with geotechnical monitoring of the step-free access to Karlovo Náměstí metro station in Prague, which is currently under construction. The engineering geological conditions encountered during the course of excavation of the shafts and excavation for the interchange gallery are mentioned in detail. Of the geotechnical monitoring measurements, there are the results of convergence measurement on excavation support elements, measurement of terrain and adjacent buildings subsidence presented in the paper. But convergence measurements in the operating tunnels of Karlovo Náměstí metro stations, measurements of water table in a nearby well and also strain-gauge measurements on temporary support structures are also mentioned. The new information system of geotechnical monitoring, SIISEL, which is used here for the first time, is, in addition, introduced in this paper.

### ÚVOD

Stavba bezbariérového zpřístupnění stanice metra Karlovo náměstí nově zajistí potřebné bezbariérové zpřístupnění z úrovně nástupiště stanice na úroveň chodníku v ulici Václavská, přes vstupní objekt umístěný v přízemí domu Václavská 2068/14, kde ústí Václavská pasáž spojující Karlovo náměstí s ulicí Václavskou (patrně ze situace stavby na obr. 1). Zpřístupnění je koncipováno jako kaskáda dvojic osobních výtahů – jednak z uliční úrovně do zalomené přestupní podzemní chodby, umístěné nad stanicí metra, a následně

### INTRODUCTION

The construction of the step-free access to Karlovo Náměstí metro station will newly ensure the step-free access from the station platform level up to the level of pavement in Václavská Street, through the entrance structure located on the ground floor of the Václavská 2068/14 building, where the Václavská Passage connecting Karlovo Náměstí Square with Václavská Street exits (visible from the construction site layout in Fig. 1). The access is drawn up as a cascade of pairs of passenger lifts – one from the



Obr. 1 Situace bezbariérového zpřístupnění stanice metra Karlovo náměstí s vyznačeným stavem ražeb k 12/2019 – na obr. zeleně vyšrafováno  
Fig. 1 Layout of step-free access to Karlovo Náměstí metro station in the state of excavation as of December 2019 – hedged green in the picture



Obr. 2 Panoramatická fotografie ze dna šachty Š1  
Fig. 2 Panoramic photo from shaft Š1 bottom

další dvojice výtahů z této přestupní chodby na nástupiště stanice, přibližně v jejím středu. Konstruktivně i postupem výstavby je bezbariérový přístup stanice metra Karlovo náměstí rozdělen do několika částí – stavebních objektů. Přímo v ulici Václavské je umístěna dočasná těžní a montážní šachta Š1, která jako pomocná jáma svými rozměry umožňuje nasazení dostatečně výkonných mechanismů pro následnou ražbu přestupních chodeb. Hloubka této šachty je cca 35 m. V domě Václavská 2068/14 se realizuje samotná výtahová šachta Š2, spojující uliční úroveň s přestupní chodbou. Tato šachta byla navržena o minimálních rozměrech a její hloubení je zde prováděno ve stísněných poměrech z úrovně suterénu zástavby. Celková hloubka šachty je 33,70 m. V podzemí v hloubce cca 30 m na šachty navazuje ražená lomená přestupní chodba. Půdorysně je tato chodba rozdělena na čtyři úseky. Jedná se o úsek I spojující obě šachty, úsek II od těžní šachty Š1 k zarážce nad stanicí metra, úsek III zarážka nad stanicí a úsek IV zarážky vedené souběžně se střední lodí pro výtahové šachty na nástupiště [1].

Na začátku 6/2019 se zahájilo hloubení těžní šachty Š1 a v 12/2019 již byly vyhloubeny obě šachty (Š1 i Š2), vyražen úsek I přestupní chodby v úrovni kaloty a provádí se ražba úseku II. Na fotografii (obr. 2) je vidět pohled z již vyhloubené šachty Š1 na ražbu přestupové chodby. Vlastní ražba přestupových chodeb je prováděna pomocí NRTM v technologické třídě 5a, a to s ohledem na náročnou ražbu v exponovaném prostoru nad provozovanou stanicí metra, pod vysokou zástavbou na povrchu a inženýrskými sítěmi. Postup výstavby tedy zohledňuje nutnost minimalizovat deformace povrchu a zástavby.

Investorem stavby je Dopravní podnik hlavního města Prahy, a.s. Zhotovitelem stavebních prací je sdružení firem „HOCHTIEF – ENERGIE – výtah KN“. Geotechnický monitoring této stavby zajišťuje sdružení „GeoTec + MP + PUDIS – Karlovo nám“. Projektantem je METROPROJEKT Praha a.s., technickým dozorem stavebníka je firma INFRAM a.s., geotechnický průzkum bezbariérového zpřístupnění stanice metra Karlovo náměstí provedl v roce 2015 GEOTest, a.s. [2].

#### ZASTIŽENÉ INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ POMĚRY

Z regionálně-geologického hlediska je zájmové území součástí jednotky staršího paleozoika Barrandienu (svrchní ordovik). Skalní podloží je budováno sedimentárními uloženinami dobrotivského

street level to the curved interchange gallery located above the metro station, the other pair of lifts from the interchange gallery to the station platform, approximately in its middle. The step-free access to and from Karlovo Náměstí metro station is divided into several parts – structures designed taking into consideration the structural design and the construction procedure. A temporary hoisting and assembly shaft Š1 located directly in Václavská Street, which as an auxiliary pit allows for application of mechanisms sufficiently powerful for the subsequent excavation of the interchange galleries. This shaft is ca 35m deep. The independent lift shaft Š2 connecting the street level with the interchange gallery is being realised in the Václavská 2068/14 building. Minimum dimensions were designed for this shaft. This shaft is being excavated in restricted conditions from the level of the basement of the building. The total depth of the shaft amounts to 33.70m. A mined curved interchange gallery links to the shaft underground at the depth of ca 30m. In the ground plan, the gallery is divided into four sections. Section I interconnecting both shafts, section II from hoisting shaft Š1 to the side tunnel excavation above the metro station, section III side tunnel above the station, and section IV side tunnels led in parallel with the central nave for lift shafts on the platform [1].

At the beginning of June 2019, the excavation of shaft Š1 and, as of December 2019, excavation of both shafts (Š1 and Š2) has been finished; section I of the interchange gallery at the top heading level has been finished and the excavation for section II is being carried out. In the photo (see Fig. 2), there is a view of the excavation of the interchange gallery taken from the already completely excavated shaft Š1. The excavation of the interchange galleries itself is carried out using the NATM, categorised as excavation class 5a with respect to complicated excavation in the exposed space above the operating metro station, under high buildings on the surface and utility networks. The construction procedure therefore takes into consideration the necessity for minimising deformations of the surface and buildings.

The project owner is Dopravní podnik hlavního města Prahy, a. s. (Prague public transit company). The contractor for civil engineering work is a consortium consisting of HOCHTIEF – ENERGIE – výtah KN. Geotechnical monitoring of this project is provided by a consortium consisting of GeoTec + MP + PUDIS – Karlovo nám.

souvrství, které jsou zde reprezentovány prachovitými až jílovito-prachovitými, jemně slídnatými břidlicemi s převážně tence deskovitou až deskovitou vrstevnatostí. Kvartérní pokryv je v zájmovém území tvořen především fluvialními sedimenty terasy Karlova náměstí. Z litologického hlediska jsou tyto pleistocenní sedimenty zastoupeny písčitymi šterky a písky se šterkem s příměsí jemnozrné frakce.

Celý geologický profil byl zaznamenán již při hloubení šachty Š1, které nejprve probíhalo do úrovně cca 1,8 m od povrchu terénu v navázkách charakteru písku až šterku hlinitého (překopaná terasa Vltavy). Dále následovalo hloubení do úrovně cca 4,0 m v prostředí fluvialních sedimentů terasy Karlova náměstí. Pod bází těchto sedimentů bylo zastíženo skalní podloží reprezentované silně zvětřalými prachovitými až jílovitými břidlicemi, třídy R5–R6 dle ČSN P 73 1005, tence deskovité vrstevnatými s orientací hlavních ploch diskontinuit  $315\text{--}345^\circ/35\text{--}45^\circ$ . Následně přešlo hloubení do polohy jílovitoprachovitých břidlic, mírně zvětřalých tence deskovité vrstevnatých, třídy převážně R5. Od 8,00 m byly zastíženy navětřalé jílovité břidlice třídy R4–R5 a od 13,65 m až do dna šachty byly dokumentovány zdravé prachovitými až jílovitými břidlicemi třídy R4–R3 s vysokou hustotou diskontinuit. Horninový masiv je místy slabě tektonicky namožen. Hloubení šachty Š2, oproti šachtě Š1, začínalo až v úrovni silně zvětřalých břidlic.

V úrovni křížení šachty Š2 s přestupní chodbou – úsek I a úsek II – bylo zastíženo tektonické poruchové pásmo směru  $350^\circ/65^\circ$ , kde byly výše popsané horniny podrceny a byly drobně úlomkovitě rozpadavé s tektonickými ohlasy na plochách diskontinuit. Výše popsané horniny se řadí do ordoviku – dobrotivského souvrství.

Celkově byly v horninovém masivu dokumentovány 3–4 pravidelné systémy diskontinuit, které zahrnují vrstevnatost horniny, podélné a příčné pukliny a tektonické poruchy.

Při hloubení obou šachet byla zastížena hladina podzemní vody cca 5,3 m pod úrovní současného terénu v prostředí mírně zvětřalých břidlic. Hladina byla zastížena formou nesoustředěných přítoků a drobných úkapů ze stěn šachet, které byly dokumentovány až do konce hloubení bez výrazných soustředěných přítoků. Geologické poměry jsou názorně patrné z inženýrskogeologického řezu (obr. 3). Na následujících obr. 4 a obr. 5 je pro ilustraci geologických poměrů ražeb přestupní chodby prezentována fotodokumentace a geologický náčrt, které jsou součástí inženýrskogeologického sledování.

## GEOTECHNICKÝ MONITORING

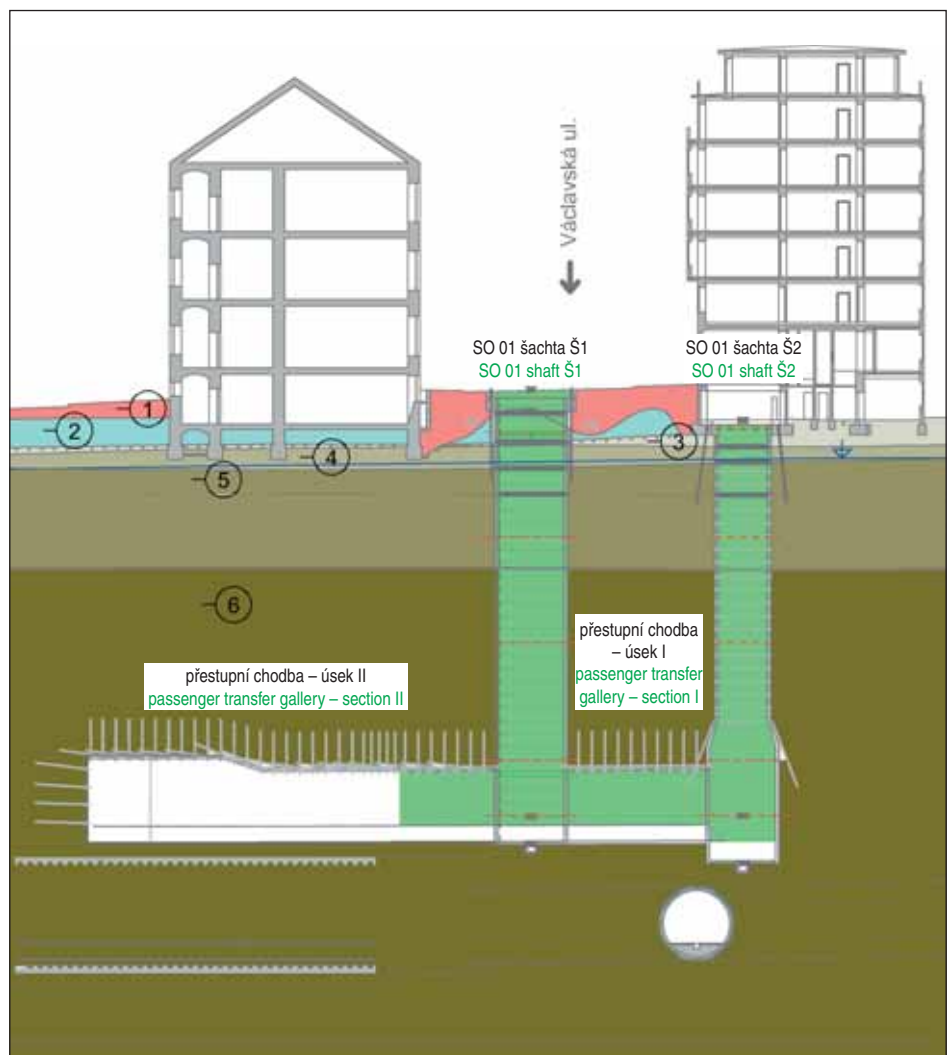
Geotechnický monitoring stavby byl koncipován s ohledem na bezprostřední blízkost zástavby, inženýrských sítí a také samotné stávající stanice metra Karlovo náměstí, v podstatě obdobně jako u předchozího bezbariérového zpřístupnění stanice metra na stanici Anděl [4]. V dostatečném

The designer is METROPROJEKT Praha a.s., builder's technical supervision is provided by INFRAM a. s.; geotechnical investigation for the step-free access to and from Karlovo Náměstí metro station was conducted in 2015 by GEOTest, a.s. [2].

## ENGINEERING GEOLOGICAL CONDITIONS ENCOUNTERED

From the regional-geological point of view, the area of operations is part of the Barrandian unit of the Early Palaeozoic (upper Ordovician). The bedrock is built up by sedimentary sediments of the Dobrotiv formation, which are represented here by silty up to clayey-silty, finely micaceous shale with mostly thinly platy up to platy bedding. The Quaternary cover in the area of operations is formed first of all by fluvial sediments of the Karlovo Náměstí terrace. From the lithological point of view, these Pleistocene sediments are represented by sandy gravel and sand with gravel with an admixture of fine-grained fraction.

The whole geological profile was recorded already during the process of excavation of shaft Š1, which first passed up to the depth of ca 1.8m from the terrain surface through made-ground with the character of sand up to loamy gravel (the once excavated Vltava River terrace). The shaft excavation further continued up to



Obr. 3 Zjednodušený inženýrskogeologický řez s vyznačeným stavem ražeb k 12/2019: 1 – navázky; 2 – fluvialní sedimenty; 3 – břidlice silně zvětřalé; 4 – břidlice mírně zvětřalé; 5 – břidlice navětřalé; 6 – břidlice zdravé; modrá čára – průběh hladiny podzemní vody; červená čára – konvergenční profily v šachtách; světle zeleně vyšrafovaný stav hloubení a ražeb

Fig. 3 Simplified engineering geological section with the state as of December 2019 marked in it: 1 – made-ground; 2 – fluvial sediments; 3 – shale heavily weathered; 4 – shale moderately weathered; 5 – shale slightly weathered; 6 – shale fresh; blue line – the course of water table; red line – convergence profiles in shafts; light green hatching – state of excavation of shafts and galleries



Obr. 4 Fotografie čela výrubu z úseku II přístupové chodby  
Fig. 4 Picture of excavation face from section II of the access gallery

předstihu před zahájením hloubení šachet byla provedena pasportizace objektů okolní zástavby, ze které vyplynuly některé skutečnosti, jež byly zohledněny v následující prováděcí projektové dokumentaci a také úpravě geotechnického monitoringu. Na základě provedené pasportizace, při které byla nalezena v jednom z objektů studna, byl například monitoring výstavby rozšířen o kontinuální hydrogeologické sledování tohoto objektu, který je od šachet vzdálen 34 m. Jinak v rámci komplexního geotechnického monitoringu je prováděn následující standardní soubor měření:

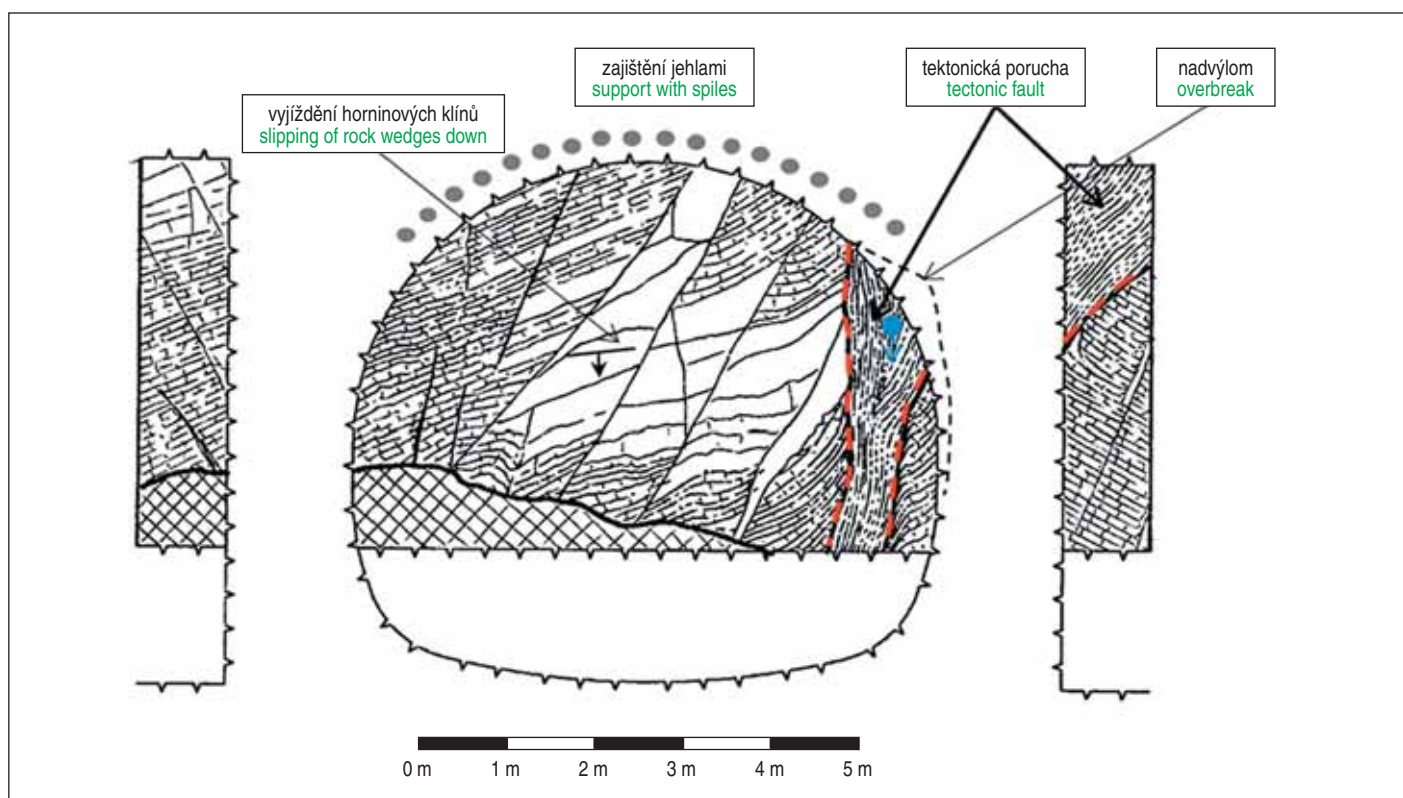
- inženýrskogeologické sledování (hloubení šachet a ražby přístupných chodeb);
- měření deformací výrubu (konvergenční měření) jak v šachtách Š1 a Š2, tak i v přístupných chodbách;
- měření deformací ve stávajících tunelech stanice metra Karlovo náměstí (konvergenční měření);

the depth of ca 4.0m, through the environment formed by fluvial sediments of the Karlovo Náměstí terrace. Under the basis of those sediments, bedrock represented by heavily weathered silty-clayey shale class R5–R6 according to ČSN P 73 1005, thinly platy bedded, with 345°/35–45° orientation of main discontinuity surfaces was encountered. Subsequently the shaft excavation passed to a layer of clayey-silty shale, slightly weathered, thinly platy bedded, mostly class R5. From 8.0m, little weathered shale class R4–R5 was encountered and, from 13.65m up to the bottom, fresh silty-clayey shale class R4–R3 with close joint spacing was documented. The rock massif is locally slightly tectonically strained. In comparison with shaft Š1, excavation of shaft Š2 started deeper, at the level of heavily weathered shale.

At the level of the intersection of shaft Š2 with the interchange gallery – section I and section II – a 350°/65° directing, tectonically faulted zone, where the above-mentioned rock was crushed and disintegrated to tiny fragments, with slickensides on discontinuity surfaces. The rock described above belongs to the Ordovician – Dobrotiv formation.

In general, 3–4 regular systems of discontinuity comprising rock bedding, longitudinal and transverse fissures and tectonic faults were documented in the rock massif.

During the process of excavation of the two shafts, the water table was encountered ca 5.3m under the currently existing terrain surface, in an environment formed by moderately weathered shale. The water table was encountered in the form of non-concentrated inflows and minor dripping from shaft walls, which were documented until the end of the excavation without significant concentrated inflows. The geological conditions are clearly visible from the engineering geological section (see Fig. 3). Photographical documentation and geological profile forming a part of the engineering geological monitoring are presented for illustration of geological conditions of the excavation for the interchange gallery in Figures 4 and 5.



Obr. 5 Inženýrskogeologické sledování čela výrubu při ražbě přístupové chodby – nákres  
Fig. 5 Engineering geological monitoring of excavation face during excavation of the access gallery – drawing



- měření zatížení provizorních podpůrných konstrukcí pomocí tenzometrů;
- měření deformací (poklesu) povrchu terénu;
- měření deformací (poklesu) objektů zástavby;
- sledování rozvoje poruch objektů zástavby (měření rozevírání trhlin);
- kontrola dynamických účinků trhacích prací;
- hydrogeologický monitoring ve stávající studni;
- korozní měření (bludné proudy);
- průkazná měření únosnosti svorníků.

Na závěr geotechnického monitoringu bude provedena repasportizace objektů zástavby.

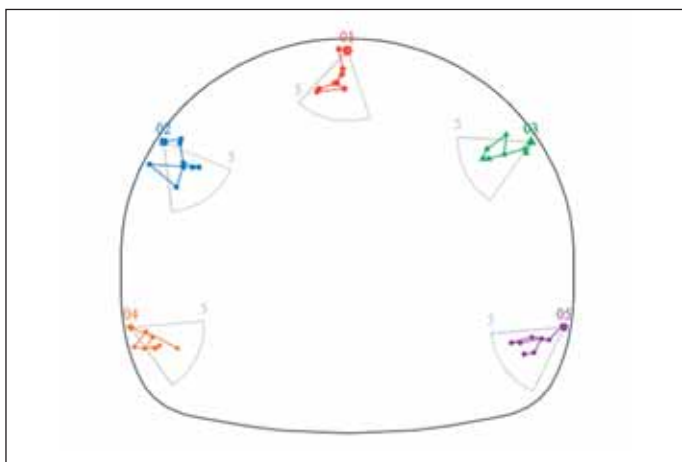
Cílem geotechnického monitoringu je získání údajů zejména o průběhu deformací nosného systému ostění, dynamické odezvy horninového prostředí při použití trhacích prací, deformací objektů nadzemní zástavby pomocí komplexního souboru měření. Měření deformací nosného systému ostění umožňuje optimalizovat použití jednotlivých prvků ostění, popřípadě modifikaci jejich použití v duchu observační metody, která je nedílnou součástí Nové rakouské tunelovací metody (NRTM).

### MĚŘENÍ DEFORMACÍ PRIMÁRNÍHO OSTĚNÍ – KONVERGENČNÍ MĚŘENÍ

Konvergenční měření je na této stavbě prováděno geodeticky pomocí zaměření totální stanicí. V šachtách jsou osazené čtyřbodové konvergenční profily a v přestupních chodbách pětibodové. V současnosti, kdy jsou vyhloubené obě šachty Š1 a Š2, vyražena v kalotě přestupní chodba úsek I mezi těmito šachtami a probíhá následná ražba přestupních chodeb (nyní úsek II) směrem ke stanici metra Karlovo náměstí, vykazují deformace ostění šachet maximální hodnoty do 4 mm v radiálním směru a do 5–7 mm ve vertikálním směru. U ražeb přestupních chodeb jsou naměřeny maximální deformace ostění do 5 mm (obr. 6).

### MĚŘENÍ DEFORMACÍ VE STÁVAJÍCÍCH TUNELECH STANICE METRA

Měření deformací stávajících tunelů stanice metra Karlovo náměstí je prováděno na pěti profilech měřicích konvergenčních bodů, osazených po odstrojení obkladů stanice a upevněných do železobetonového ostění – tubingů (obr. 7) všech tří tunelů trojpodlažní stanice Karlovo náměstí.



Obr. 6 Vektorový diagram polohových změn konvergenčních bodů profilu v přestupní chodbě

Fig. 6 Vector diagram of changes in positions of convergence points in the profile in the interchange gallery

### GEOTECHNICAL MONITORING

Geotechnical monitoring of the construction was conceived taking into consideration the immediate closeness of buildings, utility networks and also the Karlovo náměstí metro station itself, in substance similarly to the previous step-free access to Anděl metro station [4]. Condition survey of adjacent buildings was carried out in sufficient advance. Some facts following from the survey were taken into account in the subsequent final design documents and also in a modification of the geotechnical monitoring. Based on the condition survey, during which a well was found in one of the buildings, the construction monitoring was, for instance, expanded by adding continual hydrogeological monitoring of the building, which is located at the distance of 34m from the shafts. Otherwise, the following standard set of measurements is conducted within the framework of the comprehensive geotechnical investigation:

- engineering geological monitoring (excavation of shafts and excavation for interchange galleries);
- measurement of excavation deformations (convergence measurements) in shafts Š1 and Š2, as well as in interchange galleries;
- measurement of deformations in existing tunnels of Karlovo náměstí metro station (convergence measurements);
- measurement of loads acting on temporary support structures using strain gauges;
- measurement of deformations (subsidence) of terrain surface;
- measurement of deformations (subsidence) of buildings;
- monitoring of the development of building defects (measurement of development of aperture of cracks);
- checking on dynamic effects of blasting operations;
- hydrogeological monitoring in the existing well;
- corrosion measurements (stray currents);
- conclusive measurements of pull-out tests of rock bolts.

Repeated condition survey of buildings will be carried out at the end of the geotechnical monitoring.

The objective of the geotechnical monitoring is to obtain data namely on the course of deformations of the load-carrying system of the excavation lining, the dynamic response of the ground environment to blasting operations, deformations of buildings of at-grade buildings using the comprehensive set of measurements. The measurement of the load-carrying system of the lining allows for optimisation of the use of individual elements of the lining, possibly modifications of their use in the spirit of the observational method, which is an inseparable part of the New Austrian Tunnelling Method (NATM).



Obr. 7 Upevnění měřicích konvergenčních bodů na ostění stávající stanice metra Karlovo náměstí

Fig. 7 Fixation of convergence measurement points on the existing Karlovo náměstí metro station lining

## MĚŘENÍ ZATÍŽENÍ PROVIZORNÍCH PODPŮRNÝCH KONSTRUKCÍ

První skupina tenzometrů – tenzometrický profil TP 1 (4 ks) monitoruje vliv hloubení na rozpěrné železobetonové konstrukce v úrovni základových konstrukcí objektu Václavská č. p. 2068/14, přímo ve zhlaví výtahové šachty Š2. Napětí v ostění je zjišťováno zprostředkovaně, prostřednictvím měření poměrných deformací ve stříkaném betonu zhlaví šachty Š2 v úrovni základů navazující budovy. K měření poměrného přetvoření jsou použity čtyři vibrační strunové tenzometry, které jsou určeny pro dlouhodobé měření napětí v betonových konstrukcích. Všechna čtyři čidla jsou propojena se stanicí sběru dat (datalogger) kabelem s ochranou pružným krytem. Pro sběr údajů z jednotlivých tenzometrů byl instalován datalogger Geokon LC-2x4 na betonovou konstrukci budovy v úrovni terénu s ohledem na stálou možnost přístupu pro přenos naměřených dat do přenosného počítače (obr. 8). Při analýze naměřených dat byla zjištěna závislost přetvoření na úbytku hydratačního tepla stříkaného betonu. Podle analyzovaných dat dochází k normálnímu průběhu distribuce tlaků a přetvoření v betonu. Oscilace křivek grafů přetvoření je provázána s teplotou. Bylo zjištěno, že za slunečných dnů v odpoledních hodinách, kdy kulminují teploty vzduchu, dochází rovněž k částečnému osvitlu severní, a hlavně východní stěny šachty v místech uložení tenzometrů, a tím dochází k nerovnoměrnému prohřívání betonu, což se projevuje na křivkách přetvoření výraznými lokálními extrémy. S postupem času všechny čtyři měřené profily vykazují ustálené přetvoření.

Druhá skupina tenzometrů – tenzometrický profil TP 2 (4 ks) bude sledovat přetvoření rozpěrných železobetonových konstrukcí zbudovaných pod prostupy ražby do stanice metra Karlovo náměstí z přestupních chodeb.



Obr. 8 Měření tenzometrického profilu na ohlubni šachty Š2 v objektu Václavská 2068/14

Fig. 8 Measurement on strain gauge profile installed on the collar of shaft Š2 in Václavská No. 2068/14 building

## MEASUREMENT OF DEFORMATIONS OF PRIMARY LINING – CONVERGENCE MEASUREMENT

Convergence measurement is carried out on this construction by surveying, using a total station. Four-point and five-point convergence profiles are installed in the shafts and interchange galleries, respectively. Currently, excavation of both shafts Š1 and Š2 and the top heading excavation of the interchange gallery section I between the shafts is finished and subsequent excavation of interchange galleries (now section II) in the direction of Karlovo Náměstí square is under way. The lining of shafts exhibits maximum deformation values up to 4mm and up to 5–7mm in radial and vertical directions, respectively. Maximum deformations measured on the lining of the interchange galleries amount to 5mm (see Fig. 6).

## MEASUREMENT OF DEFORMATIONS IN EXISTING METRO STATION TUNNELS

Measurements of deformations of existing tunnels of Karlovo Náměstí station is conducted on five profiles of convergence measurement points, which are installed after disassembling the station cladding and fixed into the reinforced concrete lining – lining segments of all three tunnels of the three-vault Karlovo Náměstí station (see Fig. 7).

## MEASUREMENT OF LOADS ACTING ON TEMPORARY SUPPORT STRUCTURES

The first group of strain gauges – the strain-gauge measurement profile TP 1 (4 pieces), monitors the effect of excavation on bracing reinforced concrete structures at the level of foundation structures of Václavská No. 2068/14 building, directly at the top of lift shaft Š2. Stress in the lining is determined indirectly, by means of measurements of relative deformations in sprayed concrete of the top of shaft Š2 at the level of the foundation of the adjacent building. Four vibrating wire strain gauges are used for measuring relative deformations. They are designed for long-term measurements of stress in concrete structures. All four sensors are linked with a datalogger by a cable protected with an elastic cover. Geokon LC-2x4 datalogger was installed on the building concrete structure at the terrain level with respect to the permanent possibility of access for transmission of measured data to a portable computer (see Fig. 8). The dependence of deformations on the decrease in hydration heat of sprayed concrete was found by the analysis of the measured data. According to the data being analysed, the course of distribution of pressures and deformations in concrete is normal. The oscillation of curves of deformation graphs is linked with temperature. It was found out that partial exposure of the northern and, first of all, eastern wall of the shaft in the locations of the installation of the strain gauges during sunny days in afternoon hours when air temperatures culminate causes uneven development of heating of concrete, which manifests itself on curves of deformation by significant local extremes. With the time progressing, all four measurement profiles exhibit steady deformation.

The second group of strain gauges on the strain gauge profile TP 2 (4 pieces) will monitor deformations of reinforced concrete bracing structures constructed under the openings made from the transition galleries into the Karlovo Náměstí station lining for the purpose of excavation.

## MEASUREMENT OF TERRAIN SURFACE DEFORMATIONS

Measuring deformations (subsidence) of terrain surface was carried out using precise levelling. Seven measurement points were installed in total, with first two seven-point profiles in Václavská

## MĚŘENÍ DEFORMACÍ POVRCHU TERÉNU

Měření deformací (poklesu) povrchu terénu je prováděno přesnou nivelací. Celkem bylo osazeno sedm měřických profilů, přičemž ražba přestupních chodeb a hloubení šachet již ovlivnily první dva sedmibodové profily v ulici Václavská. Maximální pokles terénu byl zde zaznamenán 5–6 mm s relativními sklony poklesové kotliny jen do poměru 1:2862. To vše je patrné na obr. 9–11.

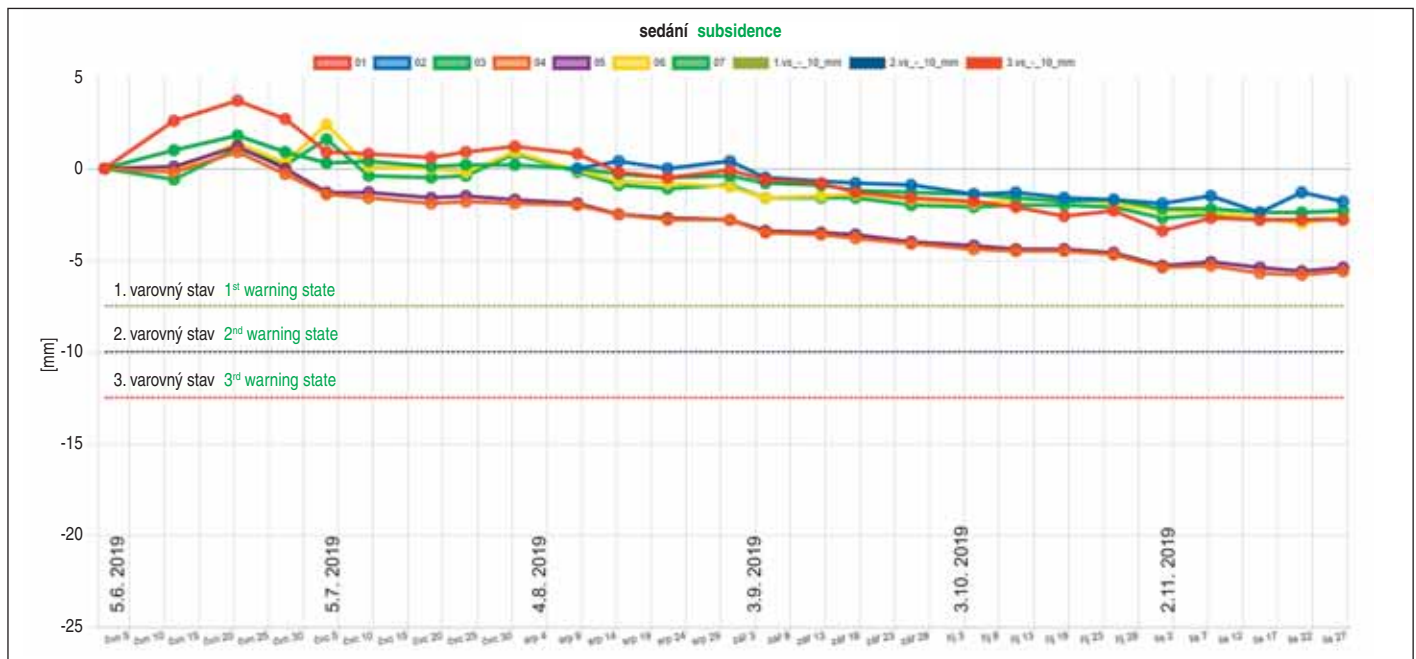
## MĚŘENÍ DEFORMACÍ OBJEKTŮ ZÁSTAVBY

Měření deformací (poklesu) přílehlé zástavby je prováděno přesnou nivelací. Umístění bodů sledování a jejich počet byl určen zadávacím

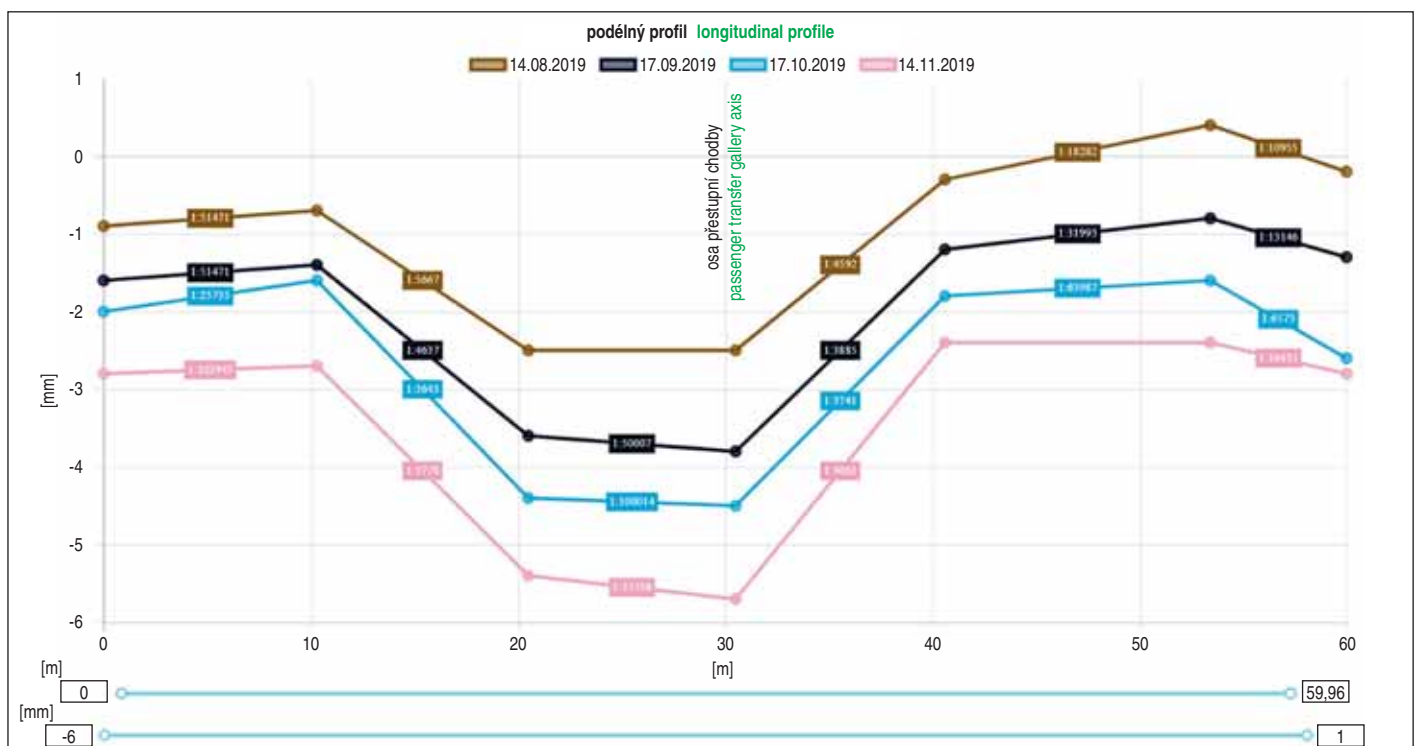
Street already affected by the excavation of the interchange galleries and excavation of the shafts. Maximum terrain subsidence of 5–6 mm was recorded here, with differential settlement of the settlement trough amounting only up to 1:2862. All of this is visible in Figures 9–11.

## MEASUREMENT OF DEFORMATIONS OF AT-GRADE BUILDINGS

Measuring deformations (subsidence) of adjacent buildings is carried out using precise levelling. The positions of the monitoring points and their quantity were determined by the tender design



Obr. 9 Časový vývoj sedání bodů v profilu 2 v ul. Václavská – profil příčný na ražbu přestupní chodby – úsek II (výstup z informačního systému SIISEL)  
Fig. 9 Time development of subsidence of points in profile No. 2 in Václavská Street – profile transverse to excavation of the interchange gallery – section II (output from SIISEL information system)



Obr. 10 Vývoj poklesové kotliny v profilu 2 v ul. Václavská nad ražbou přestupní chodby – úsek II (výstup z informačního systému SIISEL)  
Fig. 10 Development of settlement trough in profile 2 in Václavská Street above the excavation of the interchange gallery – section II (output from SIISEL information system)



Obr. 11 Hysometrie hodnot svislého posunu bodů na terénu v ul. Václavská v období 6/2019 až 11/2019

Fig. 11 Hysometry of vertical displacement values on terrain in Václavská Street in the period between June 2019 to November 2019

projektem geotechnického monitoringu a upřesněn po provedené pasportizaci objektů v zóně indukovaných účinků stavby. Celkem bylo osazeno osm objektů zástavby v ulici Václavská a v ulici Trojanova. Prozatím maximální vertikální deformace (poklesy) byly v oblasti hloubení výtahové šachty Š2 a dosahují 5,3 mm s relativními sklony pro nerovnoměrné sedání objektu jen do poměru 1:3690, což je pod limity varovných stavů, daných projektem stavby.

### SLEDOVÁNÍ ROZVOJE PORUCH OBJEKTŮ ZÁSTAVBY (MĚŘENÍ ROZEVÍRÁNÍ TRHLIN)

Před zahájením hloubení šachet a v přímé návaznosti na zjištění trhlin v konstrukcích objektů zástavby bylo v předstihu provedeno osazení posuvných měřidel a bodů pro měření příložným hrotovým deformetrem (obr. 12). Zároveň bylo provedeno nulové čtení ihned po osazení deformetrických bodů a posuvných měřidel. Na základě interpretace naměřených dat doposud v průběhu stavby nebyly pozorovány výrazné změny dilatací sledovaných trhlin na objektech. Oscilace výsledků měření byla způsobena závislostí na teplotě při měření, což se prokázalo při opakovaném měření při různých teplotách prostředí.

### HYDROGEOLOGICKÝ MONITORING

Při provedení výchozí pasportizace objektu Václavská 2069/18 byla ve 2. suterénu – v podzemních garážích pasportizována funkční studna (sloužící pro účely myčky aut). Bylo tedy nutné doplnit geotechnický monitoring o měření hladiny podzemní vody při výstavbě, neboť existuje reálné riziko ovlivnění této studny, vzdálené od stavby 34 m.

Vzhledem k možnosti ovlivnění úrovně hladiny podzemní vody v této studni vlivem realizace šachet a návazně pak ražených štol přestupních chodeb, byl nejprve proveden hydrogeologický pasport studně. Studna je pažena betonovými skružemi průměru 2 m a je hluboká 6,9 m. Při iniciálním měření byla hladina v hloubce 1,56 m od odměrného bodu (197,66 m n. m.). Následně je zde nyní prováděno kontinuální měření hladiny podzemní vody.

Sledování úrovně hladiny podzemní vody ve studni v objektu

pro geotechnický monitoring a byly upřesněny po dokončení průzkumu stavby v zóně indukovaných účinků stavby. Měřicí body byly instalovány na osmi budovách v ulicích Václavská a Trojanova. Dosud největší vertikální deformace (suklesy) byly změřeny v oblasti vyhloubení výtahové šachty Š2. Jejich velikost činí 5,3 mm a diferenciální usazení v usazení jámy činí pouze 1:3690. Tyto hodnoty jsou pod varovnými limity předepsanými projektem stavby.

### MONITORING OF DEVELOPMENT OF BUILDING DEFECTS (MEASUREMENT OF DEVELOPMENT OF APERTURES OF CRACKS)

Slide gauges and points for measuring with a point-contact deformer were installed prior to the commencement of the excavation of shafts and in direct connection to identification of cracks in building structures (see fig. 12). At the same time, zero reading was conducted immediately after the installation of the deformation measuring points and slide gauges. Based on the interpretation of the data measured until now during the course of the construction, no significant changes in dilatation of the cracks have been observed on the buildings. Oscillation of the measurement results was caused by the dependence on temperature during the measurement, which fact was proved by repeated measurements at various temperatures of the environment.



Obr. 12 Měření na trhlínách objektu Trojanova 339/13 – Jaderná fakulta ČVUT

Fig. 12 Measurement on cracks in building No. 339/13 in Trojanova Street – Faculty of Nuclear Sciences of the Czech Technical University

Václavská 2069/18 je realizováno strunovým piezometrem umístěným ve sledovaném vodním sloupci. Měřené veličiny jsou ukládány 1x za hodinu do záznamového zařízení a ze záznamového zařízení předávány v pravidelných intervalech do databáze monitoringu (obr. 13). Ze studny je nadále odebírána voda pro myčku aut a také je v ní uměle snižována hladina vody pravidelným čerpáním. Z naměřených dat je dobře patrný pravidelný rozkyv hladiny vody ve studni v intervalu 0,25 až 0,3 m. V rámci kontinuálního měření hladiny vody ve studni nebylo na základě interpretace získaných dat prokázáno negativní ovlivnění hladiny vody hloubením obou šachet Š1 i Š2, ani ovlivnění ražbou přístupové chodby – úsek I a části úseku II.

Hydrogeologický monitoring úrovně hladiny podzemní vody ve studni se předpokládá do vybudování mezilehlé izolace i sekundárního ostění podzemní stavby a ustálení režimu podzemní vody.

### KONTROLA DYNAMICKÝCH ÚČINKŮ TRHACÍCH PRACÍ

Kontrola dynamických účinků trhacích prací i otřesů od sbíjecích prací je prováděna ve spolupráci s firmou Bartoš – Engineering. K průběžnému monitorování veškerých otřesů a vibrací byly v rámci geotechnického monitoringu osazeny měřicí aparatury BRS32 (obr. 14) s třísložkovým snímačem rychlosti kmitání SM6 a orientační registrace seizmických účinků ve třech směrech kmitání x, y, z (složka vodorovná podélná, vodorovná příčná a složka svislá) s trvale snímanou hladinou vibrací. Naměřené hodnoty rychlosti kmitání jsou v pravidelných cca 14denních intervalech odečítány z datového úložiště do PC a po programovém vyhodnocení jsou výsledky měření uvedeny v protokolu o průběžném měření. Pro účely tohoto kontinuálního seizmického měření byla vybrána dvě reprezentativní stanoviště, a to v objektu ČVUT (Trojanova č. p. 339/13) ve vzdálenosti 12 m od osy těžní šachty Š1 a druhé stanoviště v přízemí obytného domu s pasáží Václavská č. p. 2068/14 – tedy v prostoru staveniště, které je v bezprostřední blízkosti šachty Š2. Uvedená místa měření splňují podmínku referenčního stanoviště dle ustanovení ČSN 730040 „Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva“.

Jelikož očekávané nasazení trhacích prací bylo z procesních důvodů časově posunuto, bylo i z důvodu obav z reakce okolí na prováděné sbíjecí práce kontinuální seizmické měření zahájeno již při použití strojního sbíjení a bourání betonových základů. Bez trhacích prací byla vyhloubena šachta Š1 a vyražen úsek I přestupové chodby. Na základě současných výsledků lze konstatovat, že naměřené hodnoty rychlosti kmitání od stavební činnosti nepřekročily přípustné hodnoty dynamického zatížení dle ČSN 730040, ani

### HYDROGEOLOGICAL MONITORING

During the initial condition survey of the Václavská 2069/18 building, a functional well (used for washing cars) was recorded in the 2<sup>nd</sup> basement level of underground parking garages. It was therefore necessary to complement the geotechnical monitoring by adding measurements of water table level during the course of the construction, because there exists a realistic risk of affecting this well, the distance of which from the construction amounts to 34m.

Taking into consideration the possibility of influencing the water table level by the effect of the realisation of the shafts and subsequently by excavation of mined interchange galleries, hydrogeological condition survey of the well was carried out first. The well was braced with concrete rings 2m in diameter and is 6.9m deep. During the initial measurement, the water table was at the depth of 1.56m under the measuring point (197.66m a.s.l.). Subsequently, continual measurements of the water table are conducted here.

The monitoring of the water table level in the well in the Václavská 2069/18 building is carried out using a vibrating wire piezometer installed in the water column being observed. The measured quantities are logged once an hour into a logger and are transmitted from the logger to the monitoring database at regular intervals (see Fig. 13). Water for washing cars continues to be taken and water table level is artificially lowered by regular pumping. Regular fluctuation of the water table level in the well within the interval of 0.25 up to 0.3m is well obvious from the measured data. Neither negative affecting of water table level by excavation of shafts Š1 and Š2 nor affecting by the excavation of the access gallery – section I and part of section II were proved on the basis of the interpretation of the obtained data.

The hydrogeological monitoring of the water table level in the well is planned to be carried out until the intermediate waterproofing and secondary lining of the underground structure is completed and the groundwater regime settles.

### CHECKING ON DYNAMIC EFFECTS OF BLASTING OPERATIONS

Checking on dynamic effects of casting operations is conducted in collaboration with Bartoš – Engineering company. Measurement apparatuses BRS32 (see Fig. 14) with SM6 three-component transducer of vibration velocity and orientation of registration of seismic effects in three vibration directions x, y, z (horizontal longitudinal component, horizontal transverse and vertical components) with continuously scanned vibration level were installed to continuously monitor all tremors and vibrations within the framework of the geotechnical monitoring. The measured values of vibration velocity are read at regular 14-day intervals from the data storage facility to the PC; after the program assessment, the measurement results are recorded on the continuous measurement protocol. Two representative stations were selected for the purposes of this continuous seismic measurement, the station in the building of the Czech Technical University (Trojanova Street, No. 339/13) at the distance of 12m from the axis of hoisting shaft Š1 and station No. 2 on the ground floor of the Václavská Street No. 2068/14 residential building housing a passage, i.e. in the space of the construction site which is in immediate vicinity of shaft Š2. The above-mentioned measurement locations meet the condition for a reference station according to ČSN 73 0040 „Loads of technical structures by technical seismicity and their response“.

Because the expected application of blasting operations was postponed for procedural reasons, continuous seismic measurement started even due to concerns about the response of the surroundings



Obr. 13 Odečet piezometrických dat hladiny podzemní vody ve studni v suterénu objektu Václavská 2069/18

Fig. 13 Reading of piezoelectric data of water table in the well in the basement of building No. 2069/18 in Václavská Street



Obr. 14 Měřicí aparatura k průběžnému monitorování veškerých otřesů a vibrací

Fig. 14 Measurement apparatus for continuous monitoring of all tremors and vibrations

doporučenou sníženou úroveň. Jejich hodnota je cca o jeden řád nižší než doporučená snížená úroveň hodnoty dynamického zatížení dle ČSN 730040. V poslední době probíhaly již i trhačí práce při hloubení šachty Š2. Výsledky kontinuálního seizmického měření registrovaly kromě vibrací od strojní činnosti a sbíjení i jednotlivé odstřely a zaznamenávaly hodnoty rychlosti kmitání se zohledněným frekvenčním oborem měřených vibrací.

Naměřené hodnoty účinků trhačích prací prokazatelně nepřekročily přípustné hodnoty dynamického zatížení dle ČSN 730040, ani doporučenou sníženou úroveň.

## INFORMAČNÍ SYSTÉM GEOTECHNICKÉHO MONITORINGU SIISEL

Skupinu informačních systémů geotechnického monitoringu, které jsou užívané v ČR a které zde byly vyvinuté (například BARAB, Cubula, Sahure), nyní aktuálně rozšiřuje informační systém SIISEL. Webová informační služba monitoringu – SIISEL využívá relační databázový a analytický systém SQL server. Idea databáze SIISEL vychází vždy z projektu monitoringu. Základní entita databáze je měřicí místo – profil (např. konvergenční profil, nivelační profil, inklinometr, extenzometr, čelba aj.) tvořený jedním a/nebo několika body, na kterých je realizován sběr dat, tedy sledované body. Kapitola sdružuje množinu profilů podle konkrétních typů měření (např. geodetická měření, inklinometrická měření, postupy ražeb, čelby aj.). Nadřazená entita kapitoly je sekce – část projektu – např. terén, stavební objekty, tunelová trouba aj.

K měřicím místům (profilům) lze ukládat jak diskrétní měření na sledovaných bodech (produkty měření z totálních stanic, z geotechnických měřidel aj.), tak informace ve formě dokumentů, obrázků aj. Diskrétní měření SIISEL zpracuje a prezentuje ve formě grafů a/nebo vektorových diagramů a/nebo tabulek vývoje změn sledovaných parametrů (složky vektoru polohové změny sledovaných bodů, veličin získaných z geotechnických měřidel aj.).

Přístup k datům služby SIISEL je realizován pomocí webové aplikace portálu SIISEL ([www.siisel.cz](http://www.siisel.cz)). Tato aplikace slouží k ukládání dat do databáze SIISEL, k jejich archivaci, interpretaci a prezentaci. Přístup k informacím služby SIISEL je řízen scénářem uživatelských rolí přidělených jednotlivým uživatelům. Uživatel může být aktivní (má právo k vkládání dat do databáze) nebo pasivní (má právo pouze k prohlížení dat databáze). Lze nastavit rozsah přístupu buď k úplnému obsahu, anebo jen k určité části databáze SIISEL.

to rock breaking work when mechanical breaking and demolition of concrete foundations commenced. Shaft Š1 and the section I of the interchange gallery were excavated without blasting. It is possible to state on the basis of current results that the measured values of vibration velocity induced by construction activities have exceeded neither the values of dynamic loading permitted according to ČSN 730040 nor the recommended reduced level. Their value is by ca one degree lower than the reduced level of the dynamic loading value recommended according to ČSN 73 0040. Blasting operations have recently taken place during the excavation of shaft Š2. The results of continuous seismic measurement registered, in addition to vibrations induced by mechanical equipment activities and breaking, even individual explosions and recorded the values of vibration velocity taking the frequency range of the vibrations being measured into consideration.

The measured values of effects of blasting operations demonstrably have neither exceeded the values of dynamic loading permitted according to ČSN 730040 nor the recommended reduced level.

## SIISEL INFORMATION SYSTEM OF GEOTECHNICAL MONITORING

The group of geotechnical monitoring information systems which are used in the CR and which have been developed here (for example BARAB, Cubula, Sahure) is currently being expanded by the SIISEL information system. The web monitoring information system – SIISEL – uses the SQL server database and analytical system. The idea of the SIISEL database is always built on a monitoring design. The basic database entity is a measurement location – profile (e.g. a convergence profile, levelling profile, inclinometer, extensometer, excavation face etc.) formed by one or several points on which the data collection is conducted, i.e. the points to be monitored. The chapter unifies the set of profiles according to particular types of measurement (e.g. survey measurements, inclinometer measurements, excavation procedures, excavation faces etc.). The superior entity of the chapter is a section, a part of the design, for example terrain surface, building structures, a tunnel tube etc.

It is possible to store both discrete measurements conducted on the points being monitored (products of measurements gathered from total stations, geotechnical meters etc.) and information in the form of documents, pictures etc. to the measurement locations. The SIISEL discrete measurement processes and presents data in the form of charts and/or vector diagrams and/or tables of development of changes in the parameters being monitored (components of changes in positions of points being monitored, quantities obtained from geotechnical measurement apparatuses etc.).

The access to SIISEL service data is performed by means of the SIISEL portal web application ([www.siisel.cz](http://www.siisel.cz)). This application is used for storing data into SIISEL database, its archiving, representation and presentation. The access to SIISEL service information is controlled by the scenario of user roles assigned to individual users. The user can be active (having the right to enter data into the database) or passive (having only the right to view database data). It is possible to set the scope of access either to full content or to a certain part of the SIISEL database.

The required information is retrieved using the initial window of the “noticeboard” presenting the current condition of the monitoring development or the GIS window where there is a direct way through symbols of measurement locations to the data relevant to those locations.

K vyhledání žádaných informací slouží úvodní okno „nástěnky“, kde je prezentován aktuální stav vývoje monitoringu, nebo okno GIS, kde přes symboly měřicích míst je přímá cesta k datům k těmto místům příslušných.

### **První použití informačního systému SIISEL na projektu bezbariérového zpřístupnění stanice metra Karlovo náměstí**

Prvním použitím databázového systému SIISEL je geotechnický monitoring bezbariérového zpřístupnění stanice metra Karlovo náměstí. Příprava databázového prostředí pro službu SIISEL zde vychází z realizační dokumentace projektu. Tento projekt předepisuje měření deformací výrubu, deformací povrchu, měření geodetických bodů na objektech, sledování rozvoje poruch objektů, měření trhlin a jejich změn, inženýrskogeologické sledování. Tomu odpovídá i struktura entit databáze. Navigace ke konkrétním výsledkům měření je možná buď přes hlavní menu služby SIISEL, nebo přes nástěnku projektu nebo přes okno GIS. Dosažené hodnoty sledovaných parametrů jsou srovnávány s projektem stanovenými hodnotami varovných stavů. Příznak dosaženého varovného stavu je zjevný v okně GIS a na nástěnce projektu.

Na jednom z předešlých obrázků (obr. 11) je příklad komplexního zhodnocení měření bodů na terénu v ul. Václavská, a to v období 6/2019 až 11/2019 ve formě hypsometrie hodnot svislého posunu bodů stabilizovaných na terénu v oblasti definovaného vlivu stavby na prostředí. Pro interpolaci byly využity i body, jejichž polohové změny (svislá složka) byly již prezentovány na obr. 9 a 10.

Výsledky všech měření archivovaných v databázi SIISEL jsou vždy shrnuty a interpretovány do zprávy, která je podkladem k jednání rady monitoringu (RAMO).

### **ZÁVĚR**

Geotechnický monitoring na stavbě bezbariérového zpřístupnění stanice Karlovo náměstí poskytuje průběžně všem účastníkům výstavby informace o chování primárního ostění podzemního díla a o vlivu prováděných prací na povrch, obzvláště na přilehlou zástavbu. Důsledně je monitorována i úroveň hladiny podzemní vody v nedaleké studni a samozřejmě i vliv ražby přestupních chodeb na stávající stanici metra Karlovo náměstí. K informovanosti všech zúčastněných subjektů o výsledcích geotechnického monitoringu a archivaci naměřených dat slouží nový informační systém SIISEL. V současné době po vyhloubení obou šachet a vyražení části přestupních chodeb lze říci, že výstavba probíhá z hlediska hodnot monitorovaných veličin v souladu s předpoklady.

*RNDr. RADOVAN CHMELÁŘ, Ph.D.,  
radovan.chmelar@pudis.cz,*

*Mgr. PAVEL TŮMA, pavel.tuma@pudis.cz, PUDIS a.s.,*

*Ing. TOMÁŠ MIKOLÁŠEK, tmikolasek@gmail.com,*

*Ing. MICHAELA GUBANIOVÁ, gubaniova@geotec-gs.cz,*

*GeoTec-GS, a.s.*

*Recenzoval Reviewed: Ing. Jan Korejčík*

### **First application of SIISEL information system to the project on step-free access to Karlovo náměstí metro station**

The geotechnical monitoring of the step-free access to Karlovo náměstí metro station is the first use of the SIISEL database system. The preparation of the database environment for the SIISEL service proceeds from the final design of the project. This design prescribes measuring the excavation deformations, surface deformations, measuring survey points on buildings, monitoring of development of building defects, measuring the cracks and their changes and engineering geological observation. The structure of the database entities corresponds to it. The navigation to concrete measurement results is possible either through the main SIISEL service menu or through the design "noticeboard" or through the GIS window. The measured values of the parameters being monitored are compared with the values of warning states prescribed by the design. The sign of the warning state achieved is visible in the GIS window and on the design "noticeboard".

An example of an comprehensive assessment of measurements on the points on terrain surface in Václavská Street, namely in the period from June 2019 to November 2019, in the form of hypsometry of the values of vertical displacement of points stabilised on the terrain surface in the area of the defined impact on of the structure of the environment, is presented in one of the preceding pictures (see Fig. 11). Even the points the position changes (vertical component) of which have been presented in Figures 9 and 10 were used for the interpolation.

Results of all measurements archived in the SIISEL database are always summed up and interpreted in a weekly report, which is a basis for the Monitoring Board meetings.

### **CONCLUSION**

Geotechnical monitoring of the construction of the step-free access to Karlovo náměstí metro station provides all participants of the construction with continuous information about the behaviour of the primary lining of the underground working and about the influence of the work on the surface, especially on adjacent buildings. Even the water table level in the nearby well and, of course, the influence of the excavation of the interchange galleries at the existing Karlovo náměstí metro station are consistently monitored. Awareness of all participating subjects of results of geotechnical monitoring and archiving the measured data is ensured by the new SIISEL information system. Currently, after completion of excavation of both shafts and a part of the interchange galleries, it is possible to say that, as far as the quantities being monitored are concerned, the construction proceeds in compliance with assumptions.

*RNDr. RADOVAN CHMELÁŘ, Ph.D.,  
radovan.chmelar@pudis.cz,*

*Mgr. PAVEL TŮMA, pavel.tuma@pudis.cz, PUDIS a.s.,*

*Ing. TOMÁŠ MIKOLÁŠEK, tmikolasek@gmail.com,*

*Ing. MICHAELA GUBANIOVÁ, gubaniova@geotec-gs.cz,*

*GeoTec-GS, a.s.*

### **LITERATURA / REFERENCES**

- [1] *Bezbariérové zpřístupnění metra Karlovo náměstí. Dokumentace pro provedení stavby. Metroprojekt 2016*
- [2] *VIŽDA, P. Geotechnická závěrečná zpráva o doplňkovém geotechnickém průzkumu v místě plánované výstavby výtahu do stanice metra Karlovo náměstí v ulici Václavská. GEOTest, 2015*
- [3] *Bezbariérové zpřístupnění stanice metra Karlovo náměstí. Dopracování dokumentace pro provedení stavby DPS, Metroprojekt 2019*
- [4] *EBERMANN, T., HUBINGER, L., KLESNIL, R., NOSEK, V., VIŽDA, P. Bezbariérové zpřístupnění stanice metra Anděl – Geotechnický monitoring. Tunel, 2017, roč. 26, č. 1, s. 4–11*

# PŘELOŽKA RADLICKÉHO POTOKA V PRAZE – PROJEKT, INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝ PRŮZKUM CULVERTING OF RADLICKÝ BROOK IN PRAGUE – DESIGN, ENGINEERING GEOLOGICAL SURVEY

RICHARD KUK, PAVEL BAČINA

## ABSTRAKT

Radlický potok prošel klasickým historickým vývojem vodního toku v intenzivní městské zástavbě. V současné době vede převážně zatrubněné koryto přes soukromé pozemky a pod obytnými objekty v několika profilech od DN 1200 až po 1550/2500. Do potoka jsou v tomto úseku zaústěny nejen srážkové vody, ale také splaškové vody. Ve výhledu je kapacita některých zatrubněných úseku nedostatečná. V článku je popsán návrh přeložky potoka, včetně zvažovaných variant technického řešení a zásadního vlivu výsledků inženýrskogeologického průzkumu na definitivní výškový návrh přeložky potoka. Výstavba přeložky je v celé délce navržena činností prováděnou hornickým způsobem. Investorem přeložky je Pražská vodohospodářská společnost a.s. a provozovatelem budou Pražské vodovody a kanalizace a.s.

## ABSTRACT

The Radlický Brook passed a classical historic development of a watercourse in a dense urban development. Currently the predominantly culverted brook bed runs across private plots of land and under residential buildings, through several profiles ranging from DN 1200 up to 1550/2500. The brook in this section collects not only rainwater, but also foul water. In the outlook, the capacity of some culverted sections will be insufficient. The paper describes the design proposal for a diversion of the brook, including variants of the technical solution and the fundamental influence of the results of the engineering geological survey on the final design for the vertical alignment of the brook. The entire length of the diversion is designed to be carried out in a mining-like way. Pražská Vodohospodářská Společnost a.s. (Prague water management company) is the client for the construction project, whilst Pražské Vodovody a Kanalizace a.s. (Prague water supply and sewerage company) will operate the system.

## 1. HISTORICKÝ VÝVOJ RADLICKÉHO POTOKA

Radlický potok dříve odváděl vody z celého Radlického údolí od Jinonic až k Vltavě v délce cca 3,3 km. S rozvojem zástavby v území docházelo k jeho postupnému zatrubňování. Na mapě z roku 1889 (obr. 1) je vidět, že zatrubněn byl pouze krátký úsek před Smíchovským nádražím v úseku mezi ulicemi Pod Brentovou – Křížová.

K praktické likvidaci potoka a přítoku do něj došlo při výstavbě stanice metra Radlická, kdy byl úsek potoka výše proti toku zrušen a potok přepojen do jednotné kanalizace. Z potoka se tak stala prakticky jen kanalizační stoka bez stálého průtoku, do které byly oficiálně odváděny srážkové vody a vody z oddělovače na jednotné kanalizaci a neoficiálně splaškové vody z některých přilehlých objektů podél zatrubněného úseku.

Při výstavbě Městského okruhu v Praze došlo v rámci stavby Zlí-

## 1. HISTORIC DEVELOPMENT OF THE RADLICKÝ BROOK

The Radlický Brook formerly collected water from the whole Radlice valley, from the district of Jinonice up to the Vltava River, at the length of ca 3.3km. It was gradually culverted along with the proceeding development of the area. It can be seen on a map from 1889 (see Fig. 1) that only a short section before the Smíchov Railway Station, between Pod Brentovou and Křížová streets, was culverted.

The brook and inflows to the brook were practically terminated during the course of the construction of Radlická metro station, when the upstream section was cancelled and the brook was reconnected to a combined storm and foul water sewer. Thus the brook practically became only a sewer without permanent flow, officially for precipitation and water from a storm overflow on the combined sewer flowing to it and, unofficially, foul water from some adjacent buildings along the culverted section.

The open stream bed between Křížová Street and the Smíchov railway station was backfilled during the course of the construction of the Prague's ring road within the framework of the Zlíchov – Radlická construction lot (1996–1998). Only two short open bed sections in courtyards of residential blocks remained in the area. At that time, the brook section under the Smíchov Railway Station was also reconstructed by inserting DN 1600 HOBAS tubes into the original brick-lined profiles.

The existence of the Radlický Brook was officially terminated by the Decision of the Department of Environmental Protection of the Prague City Hall dated 7<sup>th</sup> November 2016, where it is stated: „... surface water flows existing on the valley line running approximately along Radlická Street, which are historically denoted as the “Radlický Brook”, from the beginning of the culverted section in the area located ca 100m west of the CSOB Radlická bank building



Obr. 1 Výřez z mapy Prahy z roku 1889 (trasa potoka je podbarvena modře)  
Fig. 1 Cutout from Prague map from 1889 (the brook route is tinged blue)





Obr. 2 Fotografie příčných zděných profilů potoka, a) cihlové zdivo – 1100/1500, b) cihlové zdivo – 1800/2000, c) cihlové zdivo – 1500/2500, d) cihlové zdivo – 1550/2500

Fig. 2 Photography of brick-lined cross-sections through the brook, a) brick masonry – 1100/1500, b) brick masonry – 1800/2000, c) brick masonry – 1500/2500, d) brick masonry – 1550/2500

chov – Radlická (1996–1998) ke zrušení otevřeného koryta mezi ulicí Křížovou a Smíchovským nádražím. Na území tak zůstaly pouze dva krátké otevřené úseky ve vnitroblocích obytných objektů. V té době došlo také k rekonstrukci úseku potoka pod Smíchovským nádražím, a to vložением potrubí HOBAS DN 1600 do původních zděných profilů.

Oficiálně byla existence Radlického potoka ukončena Rozhodnutím odboru ochrany prostředí Magistrátu hlavního města Prahy z 7. 11. 2016, ve kterém se uvádí: „... povrchové vody vyskytující se v údolnici v trase přibližně podél ulice Radlická, které jsou historicky označovány jako „Radlický potok“ od počátku zatrubnění v oblasti cca 100 m západně od budovy ČSOB Radlická ... po vyústění do vodního toku Vltava v úrovni severního okraje ostrova Císařská louka nejsou vodním tokem.“ Z potoka se tak stala dešťová kanalizace, které zůstala pouze původní název – Radlický potok.

Při postupném zatrubňování potoka bylo použito několik zděných profilů od 1500/1100 po 1550/2500 (obr. 2). Západní konec od parku v ul. Pechlátové v délce cca 82,5 m je v profilu 2000/1770 a následuje novější profil DN 1200. Od ul. Pechlátové západním směrem je nový profil DN 1400, který následně přechází na DN 1200.

Po roce 2005 došlo k výstavbě nového zatrubnění od parku v ul. Pechlátové (kde byl tehdy konec historického zatrubnění potoka), až na západní stranu banky ČSOB v ul. U Kostela.

Nyní navrhovaná přeložka Radlického potoka nahradí historicky realizovanou zatrubnění, která jsou převážně vedena pod soukromými pozemky, novou kanalizací. Dokončí se tak výstavba nového zatrubnění

... up to the outfall into the Vltava River at the northern edge of the Císařská Louka Island do not form a watercourse.” It means that the brook became a storm sewer, keeping only the original Radlický Brook name.

Several brick-lined profiles ranging from 1500/1100mm up to 1550/2500mm (see Fig. 2) were used during the course of the process of gradual culverting of the brook. The profile of the 82.5m long western end section at Pechlátova Street is equal to 2000/1770mm; the following newer DN1400mm profile subsequently passes into DN1200mm.

After 2005, the construction of a new culverted section took place, leading from the park at Pechlátova Street (where the historically culverted brook ended at that time) up to the western side of the ČSOB Bank building in U Kostela Street.

The diversion of the Radlický Brook being currently designed will replace the historically realised culverted sections, running mostly under private plots of land, by a new sewer. Thus the construction of new culverts in the section from the Smíchov Railway Station up to the park at Pechlátova Street will be completed (in the remaining territory of the district of Radlice).

## 2. FEASIBILITY STUDY ON RADLICKÝ BROOK DIVERSION

The decision on the necessity of diverting the Radlický Brook was made after 2000. The reason was the fact that, in the outlook, the capacity of the existing culverted stream was small and it was not possible to increase it on the existing route. The diversion is, in addition, the project is a condition for the Radlice Radial Road

v úseku od Smíchovského nádraží až do parku v ul. Pechlátové (na zbylém území Radlic).

## 2. STUDIE PROVEDITELNOSTI PŘELOŽKY RADLICKÉHO POTOKA

Po roce 2000 bylo rozhodnuto o nutnosti přeložky Radlického potoka. Důvodem byla malá výhledová kapacita stávajícího zatrubnění a nemožnost jejího zkapacitnění ve stávající trase. Přeložka je také prakticky podmiňující stavbou pro zprovoznění Radlické radiály, protože pro odvod vod z Radlické radiály bude využit Radlický potok. Druhým důvodem je vedení trasy pod soukromými pozemky a budovami.

V roce 2006 byla zpracována studie proveditelnosti přeložky Radlického potoka. Měla za úkol určit, kterými ulicemi přeložku vést a v jaké výškové úrovni pod terénem. V území jsou prakticky k dispozici dvě trasy po veřejných komunikacích, jedna severně ulicí Radlickou a druhá jižně několika navazujícími ulicemi. Technicky se ukázala realizovatelná pouze varianta jižně od stávající trasy. Ve všech uvedených ulicích vede velké množství stávajících inženýrských sítí, podél ulic je vesměs zástavba bytovými několikopodlažními domy. Byly zpracovány nejprve čtyři limitní varianty výškového vedení (varianty I–IV.). Po jejich projednání byly následně navrženy tři varianty (A–C).

Varianta „A“ byla koncipovaná jako hluboká, s dodržáním předepsaných rychlostí a důraz byl kladen na co nejmenší vyvolané přeložky sítí. Při výstavbě se počítalo s kombinací klasické ražby a ražby mikrotunelováním. Varianta „B“ prověřila možnost vedení přeložky v otevřených výkopech, a to i s povolením rychlostí ve stoce kolem 8 m/s. Tato varianta vyžadovala největší množství přeložek stávajících sítí. Varianta „C“ kombinovala výhody obou předcházejících variant a měla minimalizovat vynucené přeložky kanalizací. I v ní se počítalo s využitím výstavby pomocí mikrotunelování.

V rámci studie proveditelnosti byl zpracován inženýrskogeologický průzkum, který vycházel z archivních materiálů.

Všeobecně byly geologické poměry zájmového území charakterizovány jako poměrně složité. Skalní podloží tvoří ordovické sedimentární horniny v letenském souvrství, které je z regionálního hlediska součástí Barrandienu. Toto souvrství má zde charakter prachovitých a písčitých břidlic s polohami a vložkami křemitých pískovců až křemenců o mocnosti 5–10 cm. Podle stupně zvětrání je lze charakterizovat jako rozložené, zcela zvětralé, zvětralé, navětralé a zdravé. Na skalním podloží ležící pokryvné útvary jsou tvořeny navážkami, deluviálními a deluviofluviálními sedimenty. Navážky jsou převážně tvořeny stavebním rumem, popelem a škvárou a dále překopávanými a přemístěnými zeminami a horninami skalního podkladu. Deluviální sedimenty jsou převládajícím kvartérním sedimentem v zájmovém území. Mocnost kolísá od 2,0 až do 10,0 m. Deluviofluviální sedimenty vznikaly podél Radlického potoka (dnes již zatrubněného) a patří k nejmladším sedimentům. Převládá jíl písčitý a hlína písčitá, místy s organickou příměsí, se střípkami cihel, s bahnatými polohami a s proměnlivým obsahem štěrku (valouny křemene, úlomky opuk a zvětralých břidlic do velikosti 5 cm). Jejich mocnost se pohybuje od 0,40 m do 6,0 m.

Pokryvné útvary, ve kterých by byl prováděn otevřený výkop, byly charakterizovány jako horniny tlačivé s všestrannými tlaky, které jsou příčinou deformací, a tím vzniku tlaku na pažení výkopu.

Z vyhodnocení hydrologických poměrů vyplynulo, že generálně lze podzemní vodu v zájmovém území radit ke dvěma typům:

- podzemní voda v prostředí s puklinovou propustností v horninách skalního podloží;
- podzemní voda v prostředí s průlinovou propustností v kvartérních sedimentech.

to be put into operation because the Radlický Brook will be used for collecting water from the Radlice Radial Road. The other reason lies in the route alignment running under private plots of land and buildings.

The feasibility study on the Radlický Brook diversion was conducted in 2006. Its task was to determine along which streets the diversion was to lead and at which depth under the terrain surface was to be placed. There are practically two routes along public roads available in the area; one is north of the existing route, along Radlická Street, the other one is south of the route, running along several linking streets. The variant running south of the existing route turned out to be the only technically viable one. In all of the above-mentioned streets there are large numbers of utility networks and multi-storey buildings mostly along the streets. In the beginning, 4 limiting variants of the vertical alignment were conducted (variants I–IV). After discussing them, three variants (A–C) were subsequently proposed.

Variant “A” was drawn up as a deep one, maintaining the prescribed flow rates; stress was put on induced relocations of utility networks to be as few as possible. A combination of traditional tunnelling and driving tunnels using a mechanised shield was taken into account for the construction. Variant “B” verified the possibility of carrying the diversion out in open trenches, even with the flow rate of 8m/s permitted for the sewer. This variant required the largest amount of utility network relocations. Variant “C” combined advantages of the two preceding variants and its task was to minimise the induced relocations of sewage lines. Even this variant took a mechanised shield into account.

The engineering geological survey proceeding from archive materials was drafted within the framework of the feasibility study.

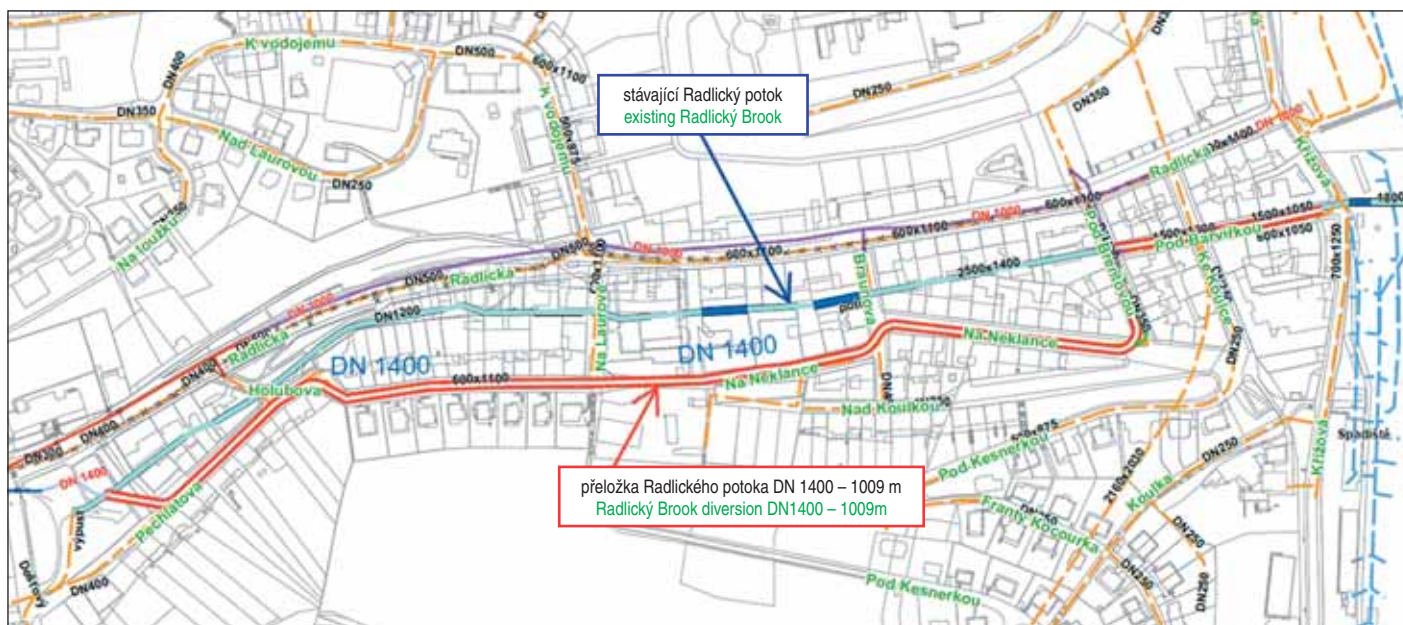
In general, the geological conditions were characterised as relatively complicated. The bedrock is formed by sedimentary rock types present in the Barrandian geosyncline – the Letná Formation. In this location, this formation has the character of silty and sandy shales with 5–10cm thick interlayers of siliceous sandstone up to quartzite. They can be characterised according to the degree of weathering as decomposed, weathered, slightly weathered and fresh. The superficial deposits on the bedrock are formed by made-ground, deluvial and deluvio-fluvial sediments. The made-ground is mainly formed by rubble, ash, cinder and further on by once excavated and moved soil and rock from the bedrock. Deluvial sediments predominate among the Quaternary sediments in the area of operations. The thickness fluctuates from 2.0 to 10.0m. The deluvial sediments originated along the Radlický Brook (today already culverted). They belong among the youngest sediments. Sandy clay and sandy loam, locally with organic admixture, shards of bricks, with muddy interlayers and with variable content of gravels (quartz boulders, fragments of cretaceous marl and weathered shale up to the size of 5cm) predominate. Thickness of the layers ranges from 0.40m to 6.0m.

The superficial deposits in which the open trench excavation would be carried out were characterised as squeezing ground inducing omnidirectional pressures causing deformations and origination of pressure on excavation bracing.

It followed from the hydrological conditions that ground water in the area of operations can be generally categorised as two types:

- groundwater in an environment featuring fissure permeability in the bedrock rock;
- groundwater in an environment featuring interstitial permeability in Quaternary sediments.

The water table bound to the bedrock with the yield of ca  $0.03 \pm 0.8 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$  which was determined in abstraction boreholes was assumed to be at the depth of 8–12m. With respect to the low



Obr. 3 Zákres navržené trasy přeložky Radlického potoka a stávajícího potoka ze studie

Fig. 3 Plotting of the proposed route of the Radlický Brook diversion and the existing brook from the study

Hladina podzemní vody, vázaná na skalní podloží, byla předpokládána v hloubce 8–12 m s vydatností cca  $0,03 \div 0,8 \text{ l.s}^{-1}$  zjištěnou v hydrogeologických průzkumných vrtech. Vzhledem k malé propustnosti ordovických břidlic dochází k rychlému poklesu přítoku těchto podzemních vod.

Podzemní vody s průlinovou propustností, vázané na deluviální a deluviofluviální sedimenty, mají vydatnost mnohem větší. Na trase stoky byly vytipovány úseky km 0,06–0,16, 0,79–0,87 a 0,98 do konce trasy, kdy by výstavba výkopem byla ovlivněna přítoky podzemních vod ze dna i stěn výkopu 2÷3 i více litrů za sekundu. Při zvýšeném čerpání by mohlo dojít k ovlivnění stávajícího režimu podzemních vod, tzn. k lokálnímu a dočasnému snížení hladiny podél kanalizace, a tím k možnému sedání přilehlých obytných objektů.

Jednotlivé varianty byly porovnány jak z hlediska investiční náročnosti, tak byl porovnán vliv výstavby na dopravu v území (vliv omezení dopravy při stavbě), vlivy výstavby na okolní objekty a další podzemní inženýrské sítě a množství vyvolaných přeložek inženýrských sítí. Z tohoto porovnání vyšla jako nejvhodnější varianta A, která je vedena celá hluboko pod terémem. V této variantě byl navržen profil DN 1400 v délce 1009 m. Zábory komunikací budou omezeny jen na těžší šachty s potřebným zázemím a negativní dopady na okolní objekty a podzemní inženýrské sítě by měly být minimální (obr. 3).

### 3. PODROBNÝ INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝ A GEOTECHNICKÝ PRŮZKUM

Pro potřeby projektu DSP byl zpracován podrobný inženýrskogeologický a geotechnický průzkum firmou INSET s.r.o. ve spolupráci s pracovníky PUDIS a.s., který navázal na předběžný inženýrskogeologický průzkum. V rámci tohoto průzkumu byly provedeny práce popsané dále.

Vrtné práce – vrty byly provedeny jednoduchými jádrovými korunkami osazovanými roubíky v řezných průměrech 220 mm, 195 mm, 175 mm a 137 mm, a to až do konečné hloubky, příp. s ohledem na vrtatelnost horniny pouze do hloubky naražení relativně pevných podložních hornin. Zde byla použita dvojitá jádrovnice. V případech nízké stability stěny vrtů (hroucení stěn vrtů v navážkách a v nepevných horninách) byla použita technologie pažení ochrannou zavrtávanou kolonou pažnic průměru 216 mm se současným předvrtáváním v průměru 175 mm. Pro

permeability of Ordovician shales, the groundwater inflow rate rapidly decreases.

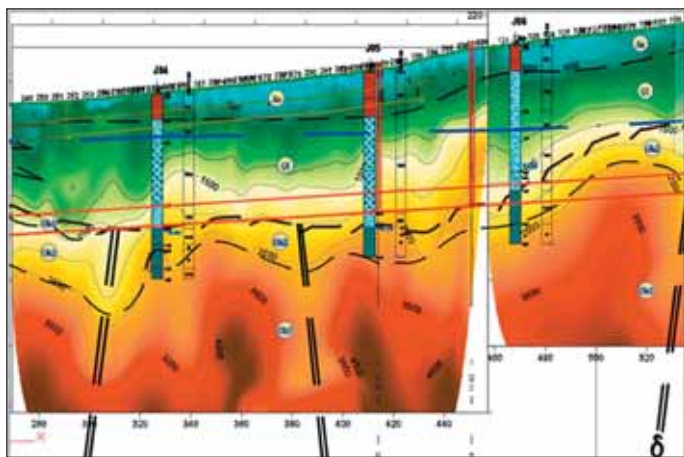
The yield of groundwater from deluvial sediments and deluviofluvial sediments, featuring interstitial permeability, is much higher. Sections where the open trench excavation would be affected by groundwater inflows from the trench bottom and walls of 2÷3 or more litres per second were tipped along the sewer route at chainage km 0.06–0.16, 0.79–0.87 and in the section from km 0.98 up to the end of the route. In a case of increased pumping the existing regime of ground water could be affected and the water table along the sewer could be locally lowered, therefore the adjacent residential buildings could settle.

Individual variants were compared not only in terms of investment demands, but also in terms of the impact on traffic in the area (the influence of traffic restriction during the construction), impacts of the construction on adjacent buildings and other underground utility networks and the amount of induced relocations of utility networks. Variant “A” leading deep under the terrain surface resulted from this comparison as the best one. A 1009m long sewer section with the DN1400mm profile was proposed in this variant. Acquisition of roads will be restricted only to the hoisting shafts with the hinterland necessary. Negative impacts on surrounding buildings and underground utility networks should be minimised (see Fig. 3).

### 3. DETAILED ENGINEERING GEOLOGICAL SURVEY AND GEOTECHNICAL INVESTIGATION

The detailed engineering geological survey and geotechnical investigation for the needs of the final design was prepared by INSET s.r.o. in collaboration with employees of PUDIS a.s. It was a follow-up to the preliminary engineering geological survey. The following work operations were carried out within the framework of this survey and investigation:

The boreholes were carried out using simple ballistic core bits 220mm, 195mm, 175mm and 137mm in diameter, boring up to the final depth or, with respect to the rock boreability, only to the depth at which relatively strong underlying rock was encountered. In the cases of low stability of borehole walls (collapsing of boreholes through made-ground and unconsolidated ground), the technique of casing with a protective column of casing pipes 216mm in diameter



Obr. 4 Podélný geofyzikální profil – deprese ve skalních horninách zastižená v počátku měřeného úseku v rozmezí staničení 270÷500 m

Fig. 4 Longitudinal geological section – depression in rock encountered at the beginning of the measured section between chainage m 270÷500

Tab. 1 Přehled doporučených charakteristických parametrů zemin a hornin (INSET, 2018)

geotechnický typ	zatřídění dle ČSN 736133	objemová tíha $\gamma$ [kN.m <sup>-3</sup> ]	přetvárné charakteristiky		smyková pevnost efektivní		těžitelnost dle ČSN 73 3050	těžitelnost dle TKP 4
			modul přetvárnosti $E_{def}$ [MPa]	Poissonovo číslo $\nu$ [1]	soudržnost $c_{ef}$ [kPa]	úhel vnitřního tření $\phi_{ef}$ [°]		
<b>KVARTÉR – ANTROPOGÉN</b> navážky								
An	MSY, CSY, SMY, GMY	19,5 20,5	4 8	0,30 0,40	20 10	24 34	2-3	I
<b>KVARTÉR – HOLOCÉN</b> fluviální a deluvio-fluviální sedimenty								
Q1	F2CG, F4CS F6CL, CI	18,5 19,5	4 11*	0,35 0,40	10 16	20 22	2-3	I
Q2	G4GM G5GC	18,0 19,0	60 80	0,25 0,30	2 4	32 36	3	I
<b>KVARTÉR – PLEISTOCÉN</b> terasový sediment maninské údolní terasy								
Q3	G3G-F	18,5 19,5	90 100	0,25	0	33 38	3-4	I
Q4	S5SC (F4CS)	18,0 19,0	5 8	0,35	6 14	24 27	3	I
<b>PALEOZOIKUM – STŘEDNÍ ORDOVIK – BEROUN</b> letenské souvrství ve flyšovém vývoji – jílovitopísčité břidlice								
Ole1 zcela zvětralé W5	R6 (MI, CI)	20,0 22,0	30 68*	0,35 0,45	12 20	17 23	3	I
Ole2 silně až mírně zvětralé W3, W4	R5 R5-R4	22,0 24,0	100 180*	0,35 0,25	40 120	25 32	3-4	I
Ole3 navětralé až zdravé W2, W1	R4, R3	24,0 25,5	305* 620*	0,25 0,20	80 300	32 38	4-5	II
intenzivně tektonicky porušené	TEP	21,5 22,5	4* 11*	0,40 0,30	20 40	20 26	3	I

inserted into the borehole along with drilling and concurrent pre-drilling for the diameter of 175mm was applied. Small-profile core runs about 1.0m long were realised in selected boreholes (row "PJ") for the needs of pressuremeter measurements. Twelve boreholes at the total length of 167 metres were carried out in total.

Geophysical survey – it was focused on assessing the route of the planned trunk sewer on the basis of the distribution of seismic velocities provided using the data of the gravity survey and survey and a ground penetrating radar. The advantage of geophysical methods applied to the survey lies in a relatively dense steps of the physical parameter measurement, together with the corresponding reach of the depth permitting the interpolation of the data monitored in the longitudinal section through the ground and rock environment between individual probing points and developing a continuous image of the environment being surveyed. Geophysical methods of shallow seismic refraction survey, microgravity survey and ground penetrating radar survey were applied. An example of an output of the seismic survey is presented in Fig. 4.

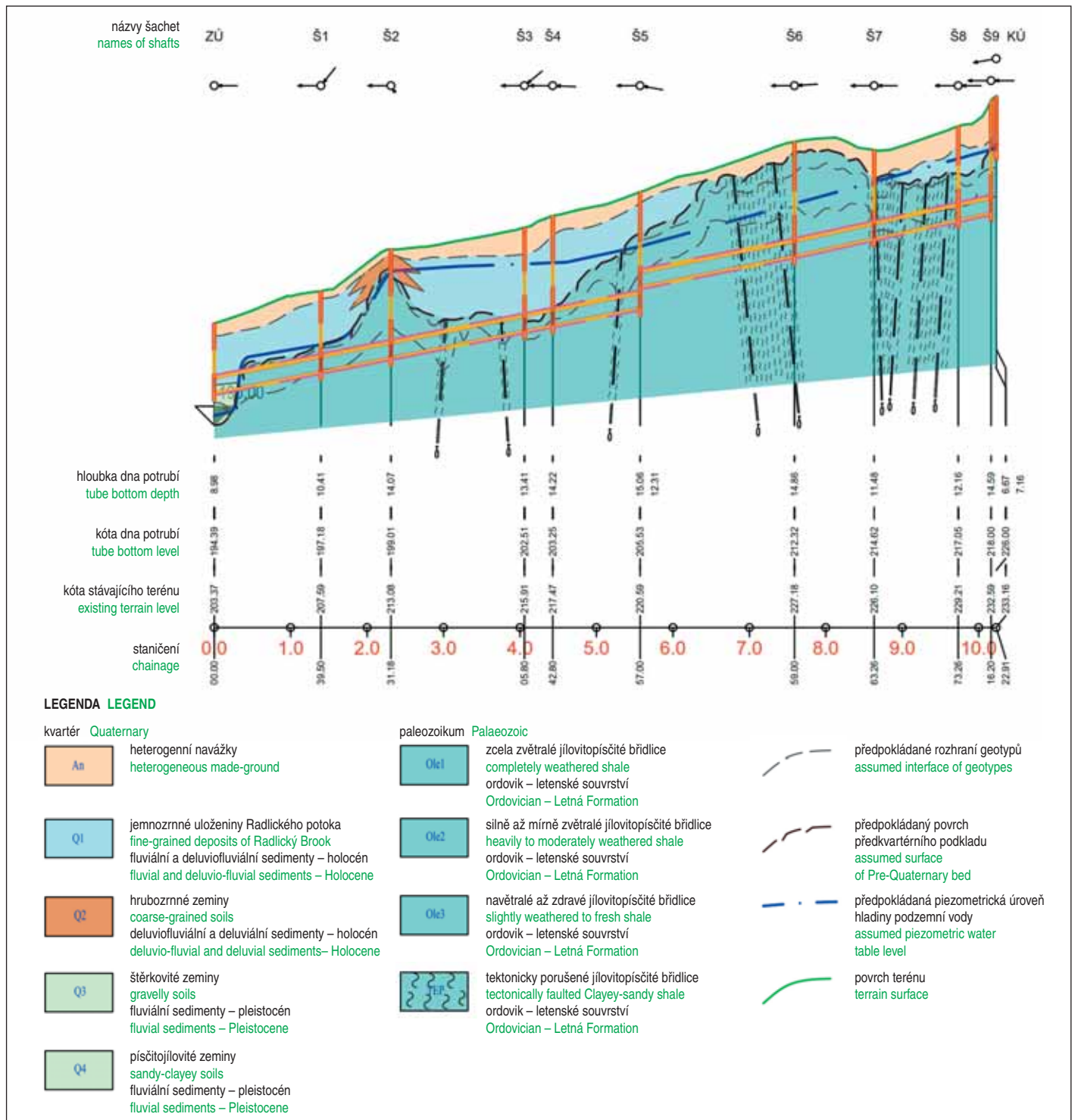
Table 1 Overview of recommended characteristic soil and rock parameters (INSET, 2018)

geotechnical type	category according to ČSN 736133	volumetric weight $\gamma$ [kN.m <sup>-3</sup> ]	deformational characteristics		shear strength effective		workability according to ČSN 73 3050	workability according to TKP 4 specifications
			modulus of deformation $E_{def}$ [MPa]	Poisson's ratio $\nu$ [1]	cohesion $c_{ef}$ [kPa]	angle of internal friction $\phi_{ef}$ [°]		
<b>QUATERNARY – ANTROPOGENEOUS</b> made-ground								
An	MSY, CSY, SMY, GMY	19.5 20.5	4 8	0.30 0.40	20 10	24 34	2-3	I
<b>QUATERNARY – HOLOCENE</b> fluvial and deluvio-fluvial sediments								
Q1	F2CG, F4CS F6CL, CI	18.5 19.5	4 11*	0.35 0.40	10 16	20 22	2-3	I
Q2	G4GM G5GC	18.0 19.0	60 80	0.25 0.30	2 4	32 36	3	I
<b>QUATERNARY – PLEISTOCENE</b> terrace sediment of Maniny valley terrace								
Q3	G3G-F	18.5 19.5	90 100	0.25	0	33 38	3-4	I
Q4	S5SC (F4CS)	18.0 19.0	5 8	0.35	6 14	24 27	3	I
<b>PALAEOZOIC – MIDDLE ORDOVICIAN – BEROUN</b> Letná formation in flysch-type evolution – clayey-sandy shale								
Ole1 completely weathered W5	R6 (MI, CI)	20.0 22.0	30 68*	0.35 0.45	12 20	17 23	3	I
Ole2 heavily to slightly weathered W3, W4	R5 R5-R4	22.0 24.0	100 180*	0.35 0.25	40 120	25 32	3-4	I
Ole3 slightly weathered to fresh W2, W1	R4, R3	24.0 25.5	305* 620*	0.25 0.20	80 300	32 38	4-5	II
intensely tectonically faulted	TEP	21.5 22.5	4* 11*	0.40 0.30	20 40	20 26	3	I

potřeby presiometrických měření byly ve vybraných vrtech (řada „PJ“) realizovány úzkoprofilové návrtvy délky cca 1,0 m. Celkem bylo zhotovenono 12 vrtů o celkové délce 167 m.

Geofyzikální průzkum byl zaměřen na posouzení trasy plánovaného sběrače na základě distribuce seismických rychlostí s pomocí dat z gravimetrického a georadarového průzkumu. Výhodou geofyzikálních metod při realizaci průzkumu je relativně hustý krok měřeného fyzikálního parametru zároveň s odpovídajícím hloubkovým dosahem, umožňující interpolaci sledovaných údajů v řezu zemním a horninovým prostředím mezi jednotlivými sondážními objekty a vytvoření spojitého obrazu zkoumaného prostředí. Byly použity geofyzikální metody mělké refrakční seismiky, mikrogravimetrie a georadaru. Ukázka výstupu seismického průzkumu je uvedena na obr. 4.

The main piece of knowledge provided by the completed geophysical survey lied in the verification of the course of the interface between Palaeozoic rock types forming the Letná formation (Ordovician) and superficial layers formed by fluvial and deluvial sediments or, as the case may be, by eluvium derived from the rock. Two significant depressions were indicated along the trunk sewer route at the depth of about 10m, between chainages of m 270÷500 and 850÷1010. The presence of an elevation of rock rising up to the level of 1÷2m under the terrain surface was registered between chainage metres 660 and 850. Even tectonic faults were detected in the rock. Made-ground layers with lowered degree of compaction were determined in the superficial deposits. Anomalies interpreted as sections of inhomogeneous subsurface conditions indicating



Obr. 5 Podélný geologický profil se zázřesem výsledků podrobného inženýrskogeologického a geotechnického průzkumu  
Fig. 5 Longitudinal section with results of the detailed engineering geological survey and geotechnical investigation drawn in it

Hlavním poznatkem realizovaného geofyzikálního průzkumu bylo ověření průběhu rozhraní mezi skalními paleozoickými horninami letenského souvrství (ordovik) a pokryvnými útvary tvořenými fluvialními a deluvialními sedimenty, popřípadě eluviem hornin. V průběhu trasy přeložky sběrače byly indikovány mezi st. 270÷500 a 850÷1010 m dvě významné deprese v průběhu skalních hornin s hloubkou kolem 10 m. Mezi st. 660÷850 m byla zaznamenána přítomnost elevace skalních hornin, které vystupují až na úroveň 1÷2 m pod povrchem. Ve skalních horninách byly zachyceny i tektonické poruchy. V pokryvných útvarech byly vymezeny polohy navážek se sníženou ulehlostí. Georadarovým průzkumem byly vymezeny anomálie interpretované jako úseky nehomogenních podpovrchových podmínek s patrnou změnou zemního prostředí vůči svému okolí. Pokud se vyskytovaly v hloubce větší než 2÷3 m, byly označeny za významné v ohledu stability povrchu při provádění stavby, zejména v ražených úsecích přeložky trasy.

Hydrogeologický průzkum stanovil průběh naražené a ustálené hladiny podzemní vody. Výsledkem bylo také upřesnění hodnoty předpokládaných přítoků podzemní vody. Oproti předběžnému hydrogeologickému průzkumu bylo zjištěno, že je nutno počítat s většími přítoky podzemní vody. Největší přítoky byly stanoveny pro místa tektonického porušení masivu, kde může lokálně docházet ke zvýšenému přítoku podzemní vody do výrubu až 10,8 l/s.

Petrografická analýza, určení obsahu jílových minerálů a stanovení abrazivnosti vzorků hornin, byla zapracována pro případné použití mikrotuneláže při výstavbě stoky. Toto vyhodnocení provedl Ústav geoniky AVČR, v.v.i.

Základní korozní průzkum – z tohoto průzkumu vyplynulo, že z hlediska geoelektrických veličin je zemní prostředí hodnoceno jako velmi vysoce agresivní – IV. korozní stupeň. Při výstavbě bylo proto doporučeno pro projektované dílo použít základní ochranná opatření stupně č. 4 dle TP 124.

Výsledky podrobného průzkumu zcela zásadně ovlivnily definitivní návrh výškového řešení uložení stoky. Oproti předběžnému průzkumu došlo hlavně k přesnému určení rozhraní skalního podloží, k určení úseků, kde jsou břidlice ordovicko-letenského souvrství intenzivně tektonicky porušené a k upřesnění geotechnických charakteristik zemin a hornin, které jsou uvedeny v tabulce 1.

#### 4. PROJEKT PŘELOŽKY RADLICKÉHO POTOKA

V roce 2016 byl zpracován projekt pro územní rozhodnutí, v roce 2018 navázal projekt pro vodoprávní povolení a v roce 2019 byl zpracován projekt pro výběr zhotovitele. Tyto projekty byly zpracovány firmou PUDIS a.s.

obvious changes in the ground conditions in comparison with their neighbourhood were delimited by the ground penetrating radar survey. When they were found at the depth exceeding 2÷3m, they were denoted as significant in terms of the stability of the surface during the execution of the construction, first of all in the mined sections of the diversion route.

Hydrogeological survey – it determined the course of the instantaneous and standing water table levels. The survey, in addition, specified the value of presumed groundwater inflows. As opposed to the preliminary hydrogeological survey, it was determined that it was necessary to take larger inflow rates of groundwater into consideration. Largest inflow rates were determined for tectonically faulted places, where the rate of groundwater inflow into the excavation can increase up to 10.8L/s.

A petrographical analysis, determination of the content of clay minerals and determination of abrasiveness of rock samples were carried out for the possible application of microtunnelling to the construction of the sewer. This assessment was carried out by the Institute of Geonics AS CR, v.v.i.

The basic corrosion survey – it followed from this survey that the ground environment, in terms of geoelectric quantities, is rated as very highly corrosive – corrosion degree IV. For that reason it was recommended for the structure being designed to apply basic protective measures degree No. 4 according to Technical Specifications TP 124.

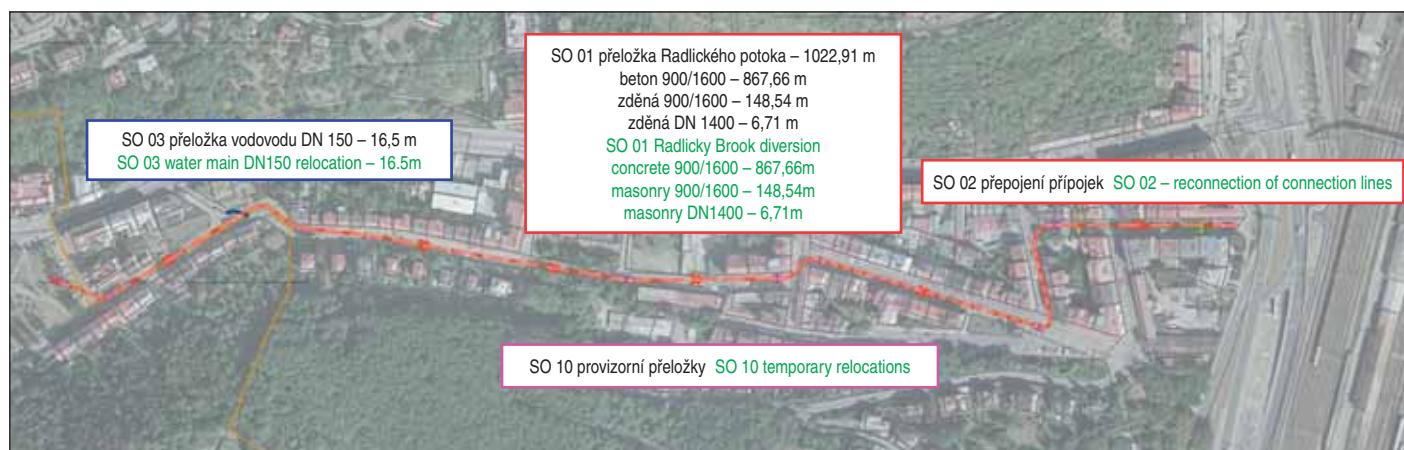
The results of the detailed survey significantly affected the final proposal for the vertical alignment of the sewer. In contrast with the preliminary survey, the detailed survey first of all accurately determined the interface between the bedrock and the superficial cover, determined the sections where the shale of the Ordovician-Letná formation is intensely tectonically faulted and specified geotechnical characteristics of soils and rock (see Table 1).

#### 4. RADLICKÝ BROOK DIVERSION DESIGN

The design for issuance of the zoning and planning decision was issued in 2016; the design of issuance of water management permission was submitted in 2018 and the design for tendering in 2019. The above-mentioned designs were carried out by PUDIS a.s.

The decision was made after assessing the results of the detailed engineering geological survey and geotechnical investigation that the sewer would be preferably led at the depth of the bedrock (i. e. application of the “deep variant” – see Fig. 5). The proposed diversion of the Radlický Brook received the zoning and planning decision and water management permission.

Manholes were designed with respect to the sewer placement depth



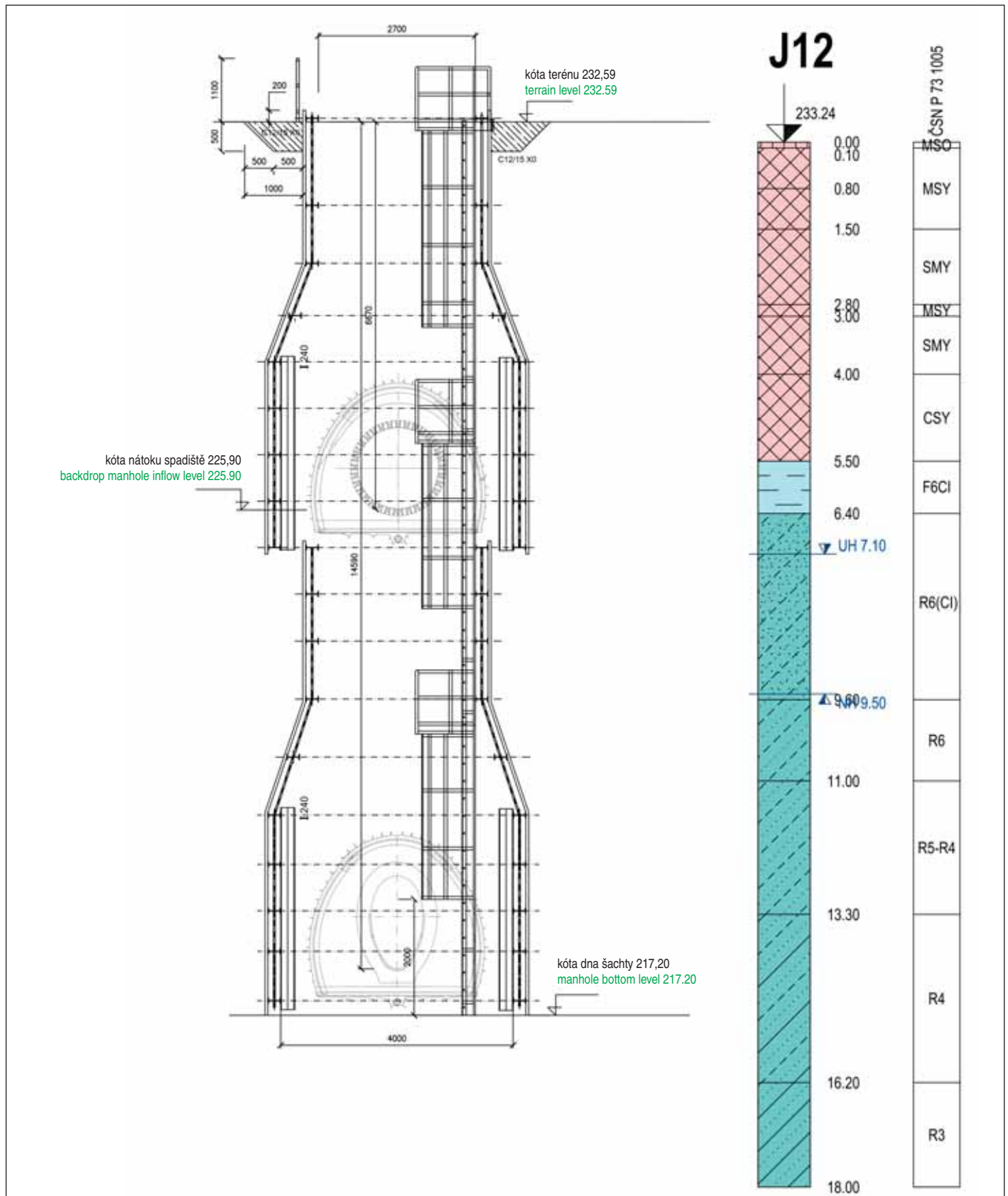
Obr. 6 Zákres přeložky potoka do ortofoto mapy

Fig. 6 The brook diversion plotted in the orthophoto map

Po vyhodnocení výsledků podrobného inženýrskogeologického a geotechnického průzkumu bylo rozhodnuto vést stoku přednostně až ve skalním podloží (tzn. použít „hlubokou“ variantu, obr. 5). Navržená přeložka Radlického potoka získala územní rozhodnutí a vodoprávní povolení.

Vstupní šachty byly navrženy s ohledem na hloubku uložení stoky

and the large number of utility networks spaced at ca 90÷202m, with the exception of two sections where they are spaced at less than 50m. At the originally proposed sewer profile DN1400mm, which is not passable for persons, it was necessary to obtain an exception for approval for so large spacing of the manholes. The egg-shaped profile 900/1600 proposed in the final solution is already passable.



Obr. 7 Řez těžní šachtou TŠ9 (spadiště)

Fig. 7 Section through hoisting shaft TS9 (backdrop manhole)





a na velké množství inženýrských sítí kromě dvou úseků do 50 m ve vzdálenostech cca 90÷202 m. Při původně navrženém profilu stoky DN 1400, který není průchozí, bylo nutno získat výjimku pro povolení tak velkých vzdáleností šachet. V definitivním řešení je navržen vejčitý profil 900/1600, který je již průchozí.

Celková délka přeložky potoka bude 1023 m, z toho 1016,2 m profil 900/1600 a 6,71 m DN 1400. Vzhledem k definitivnímu vejčitému profilu je její výstavba navržena v celé délce ve štole. Součástí jsou i další stavební objekty, vyvolané trvalé a dočasné přeložky inženýrských sítí a přepojení přípojek uličních vpustí. Rozsah jednotlivých objektů je zřejmý z obr. 6.

Na trase je navrženo celkem deset těžních šachet, v devíti budou následně vybudovány vstupní šachty do stoky. Poslední těžní šachta bude vybudována před napojením do stávajícího spadiště (šachta „ZÚ“).

Těžní šachty jsou vzhledem k omezeným prostorovým podmínkám na terénu navrženy obdélníkové v rozměrech 3,80×2,40 m až 7,0×3,6 m. Pažení je navrženo z I-profilů s pažinami UNION. Hloubky těžních šachet se pohybují v rozmezí cca 10÷16 m. Ve více případech bylo nutno s ohledem na vedení podzemních inženýrských sítí otevřít šachtu v malém půdorysu, a ten následně rozšiřovat v místě realizace stol. Na obr. 7 je zakreslena těžní šachta TŠ9, ve které bude spadiště, a proto do ní bude stoka zaústěna ve dvou výškových úrovních.

Ražba celé trasy je navržena ve třech profilech – „A“, „B“ a „C“. Pro profil „A“ bude použit typ rámu 00-0-02 v provedení B (prodloužené) s ocelovou důlní výztuží profilu K21 a se stříkaným betonem a 2x KARI sítí 100/100/6. Profil „B“ je stejný rám jako profil „A“, ale zapažením ocelovými pažinami „UNION“ – alt. dřevěnými (obr. 8). Pro profil „C“ (obr. 9) je navrženo z rámu LB-5/1700 prodloužený na výšku 2500 mm s ocelovou důlní výztuží profilu K21 a zapažením ocelovými pažinami „UNION“ – alt. dřevěnými. Menší profil „C“ bude použit u dlouhých rovných úseků. Větší profily jsou v obloucích trasy, kde by menší profil nebyl dostatečně široký pro potřeby dopravy ve štole.

## 5. ZÁVĚR

V průběhu zpracování projektových dokumentací se prokázalo, jak zcela zásadní je i pro tento typ relativně malých štol provedení podrobného inženýrskogeologického a geotechnického průzkumu v dostatečně podrobném rozsahu. Přestože se jedná o poměrně v archivech historicky dobře prověřené území, ukázalo se, že informace z archivních materiálů by vedly ke zcela nevhodnému výškovému uložení díla. To bylo způsobeno zejména malou hloubkou archivních vrtů.

Zcela zásadní úlohu bude při výstavbě hrát geotechnický monitoring. Projekt monitoringu bude zpracován jako samostatná dokumentace, která nebyla v době zpracování tohoto článku k dispozici, a proto zde nejsou prezentována navržená řešení monitoringu.

*Ing. RICHARD KUK, richard.kuk@pudis.cz,  
PAVEL BAČINA, pavel.bacina@pudis.cz,  
PUDIS a.s.*

*Recenzoval Reviewed: Ing. Jan Frantl*

The total length of the diversion of the brook will amount to 1023m, with 900/1600mm profile applied to 1016.2m of that length and DN1400mm to 6.71m. With respect to the final egg-shaped profile, the whole length of the construction was proposed to be carried out in a tunnel. Even other construction objects, induced permanent and temporary relocations of utility networks and reconnections of curb inlets are parts of the project. The scope of individual objects is obvious from Fig. 6.

There are ten hoisting shafts proposed for the route; manholes allowing access to the sewer will be subsequently carried out in nine of them. The last hoisting shaft will be constructed before the connection to the existing backdrop manhole (manhole “ZÚ”).

With respect to the restricted spatial conditions on the terrain surface, the hoisting shafts were designed as rectangular structures 3.80×2.40m up to 7.0×3.6m in the ground plan. I-sections and UNION steel sheets are designed for sheeting. The depths of the hoisting shafts vary over a range between ca 10÷16m. It was necessary in several cases with respect to underground utility network lines to start excavation of a shaft with a small ground plan dimensions and subsequently expand it in at the depth of the realisation of the tunnels. A backdrop manhole will be constructed in hoisting shaft TS9. For that reason the sewer will be connected to it at two levels.

Three profiles, „A“, „B“ and „C“, are designed for the excavation for the entire route. Excavation for profile “A” will be supported with version B (extended) of 00-0-02 type of frame with K21 steel colliery arches and with sprayed concrete and 2 layers of KARI welded mesh 100/100/6. Profile “B” will be identical with profile “A”, but wooden lagging (see Fig. 8) will be possible as an alternative to the “UNION” steel sheet lagging. LB-5/1700 frame extended to the height of 2500mm with steel K21 colliery arches and “UNION” steel sheet lagging, alternatively wooden lagging is designed for profile “C” (see Fig. 9). The smaller profile “C” will be applied to long straight sections. The larger profiles are designed for curves on the route, where the width of a smaller profile would not be sufficient for the needs of transportation in the tunnel.

## 5. CONCLUSION

It was proved during the course of the work on the design documents, how crucial the execution of the detailed engineering geological survey and geotechnical investigation in sufficiently detailed scope is even for this type of relatively small tunnels. Despite the fact that the territory has been historically relatively well verified in archives, it turned out that information from archive materials would have led to completely inappropriate design for the vertical placement of the structure. It was caused mainly by the small depth of archive boreholes.

A crucial role during the construction will be played by monitoring. The monitoring design will be carried out as an independent document. It was not available at the moment of preparation of this paper. For that reason the solutions designed for the monitoring are not presented in it.

*Ing. RICHARD KUK, richard.kuk@pudis.cz,  
PAVEL BAČINA, pavel.bacina@pudis.cz,  
PUDIS a.s.*

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] Archivů autorů
- [2] *Rekonstrukce Radlického sběrače*. Geotechnický průzkum, INSET s.r.o., 9/2018
- [3] Zápisy z prohlídek Radlického potoka provedené PKVT od roku 1998 a PVK a.s. od roku 2003

# AKTUÁLNÍ STAV PROJEKTU HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ V ČESKÉ REPUBLICĚ

## CURRENT STATUS OF THE DEEP GEOLOGICAL REPOSITORY PROJECT IN THE CZECH REPUBLIC

MARKÉTA DOHNÁLKOVÁ, JAROMÍR AUGUSTA

### ABSTRAKT

Projekt hlubinného úložiště radioaktivních odpadů je v Česku rozvíjen od 90. let 20. století. V roce 1997 byla zřízena Ministerstvem průmyslu a obchodu Správa úložišť radioaktivních odpadů, která je od roku 2001 ve smyslu § 51 zákona č. 219/2000 Sb., organizační složkou státu a jejíž úlohou je, mimo jiné, připravit projekt hlubinného úložiště v ČR. Hlubinné úložiště radioaktivních odpadů je multidisciplinární úlohou, která zasahuje od jaderné fyziky, přes jadernou chemii, geologii, materiálové inženýrství, stavebnictví, hornictví, strojírenství, environmentální oblast až po bezpečnost práce a ochranu zdraví. Legislativně je proces přípravy hlubinného úložiště zakotven zejména v oblasti atomového zákona, báňských, environmentálních a stavebních a mnoha souvisejících předpisů. Významnou roli sehrávají i mezinárodní smlouvy a standardy v oblasti mírového využívání jaderné energie.

### ABSTRACT

The deep geological repository for radioactive waste project has been underway in the Czech Republic since the 1990s. In 1997, the Ministry of Industry and Trade established the Radioactive Waste Repository Authority (SÚRAO), the legal form of which was changed in 2001 to that of a state organisational unit according to Section 51 of Act No. 219/2000 Coll. SÚRAO's responsibilities include the development of the Czech deep geological repository project, the planning of which requires a multidisciplinary approach involving the fields of nuclear physics, nuclear chemistry, geology, material engineering, construction, mining, engineering, environmental considerations and occupational health and safety. The legal aspects of the development of the deep geological repository are based on the so-called Atomic Act and mining, environmental, construction, etc. regulations. International treaties and standards relating to the peaceful use of nuclear energy also play an important role.

### ÚVOD

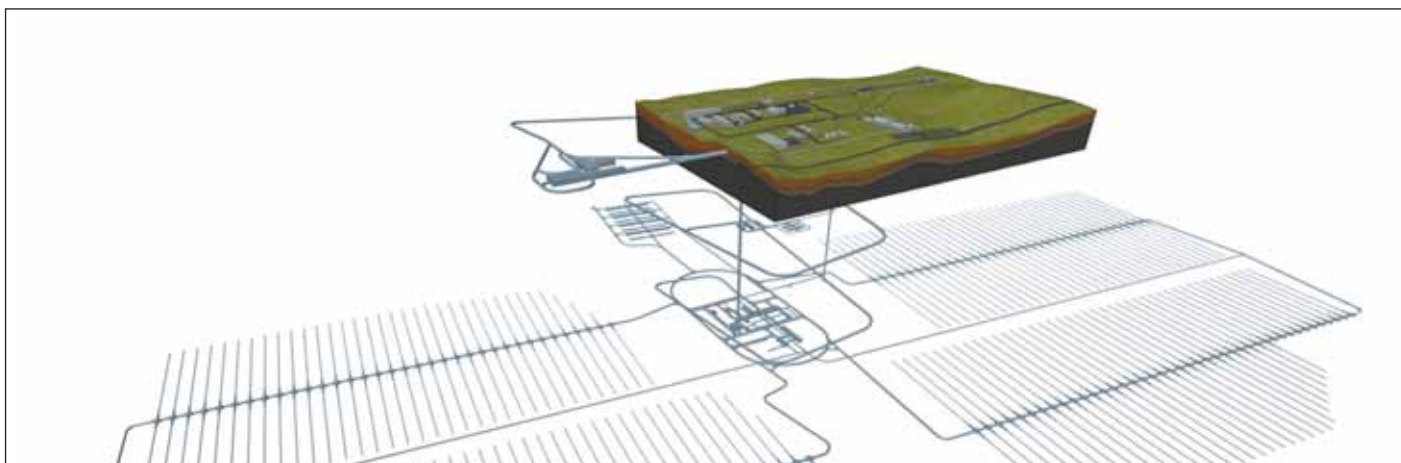
Hlubinné úložiště (HÚ) je jaderným zařízením, umístěným převážně v podzemí, jehož úkolem je bezpečně a dlouhodobě uložit radioaktivní odpady vzniklé na území České republiky. Předpokládá se, že bude určeno jak pro vyhořelé jaderné palivo, tak i pro ostatní vysoce a středně aktivní odpady, podle strategických záměrů ČR neuložitelné ve stávajících úložištích pro nízko a středně aktivní odpady.

V České republice byly rozpracovány dvě varianty technického řešení v různé hloubce zpracování (Holub et al., 1999; Pospíšková et al., 2012). Obě technická řešení jsou založena na základních vstupních předpokladech, že vyhořelé jaderné palivo se bude ukládat nepřepřacované, v ocelových ukládacích obalových souborech, v hloubce cca 500 m pod povrchem země, v horninách krystalinika. V roce 2016 na tyto práce navázal projekt „Výzkumná podpora pro projektové řešení hlubinného úložiště“, v jehož rámci byla mimo jiné optimalizována podzemní část HÚ a byly zpracovány studie umístitelnosti na jednotlivých lokalitách. Projekt byl realizován na základě nových poznatků z národních i mezinárodních výzkumů a výstupů souběžného projektu „Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště“, zejména v oblasti geologického průzkumu a výzkumu potenciálních lokalit pro umístění HÚ. Pro účely vyhodnocení vhodnosti lokalit byla zpracována aktualizovaná projektová řešení na všech devíti vytipovaných lokalitách (Referenční řešení HÚ na lokalitě). Studie proveditelnosti (umístitelnosti) HÚ na konkrétní lokalitě byla v roce 2019 podrobena zahraniční oponentuře finské společnosti POSIVA SOLUTIONS Oy, která je nositelem stejného projektu ve Finsku, přičemž je ve fázi výstavby HÚ.

### INTRODUCTION

The Czech deep geological repository (DGR) will be a nuclear facility mostly located beneath the Earth's surface, the function of which will be to provide for the safe long-term disposal of radioactive waste generated in the Czech Republic. According to the strategic plans of the Czech Republic, the repository will serve for the disposal of both spent nuclear fuel and other high- and intermediate-level waste that, due to its form, cannot be disposed of in existing repositories for low- and medium-level waste.

Two technical design variants have been developed for the Czech DGR (Holub et al., 1999; Pospíšková et al., 2012), both of which are based on the fundamental input assumption that spent nuclear fuel will be disposed of in its unprocessed form in steel disposal containers at a depth of around 500m below the surface in a crystalline rock environment. The “Research Support for the Design of the Deep Geological Repository” project, conducted in 2016, included the optimisation of the underground complex of the DGR and the preparation of siting studies for the candidate sites. The project was based on the most up-to-date knowledge available which was obtained from national and international research projects and the results of the parallel “Research Support for the Safety Assessment of the Deep Geological Repository” project, especially with respect to the geological research and investigation of potential DGR construction sites. Updated studies of all nine candidate sites were subsequently compiled for the purpose of the assessment of their suitability for DGR construction (Site Reference DGR Design Studies). In 2019, DGR feasibility studies for each of the sites were subjected to scrutiny at the request of SÚRAO by the Finnish company POSIVA SOLUTIONS Oy, the organisation responsible for the Finnish DGR project which is currently in the construction phase.



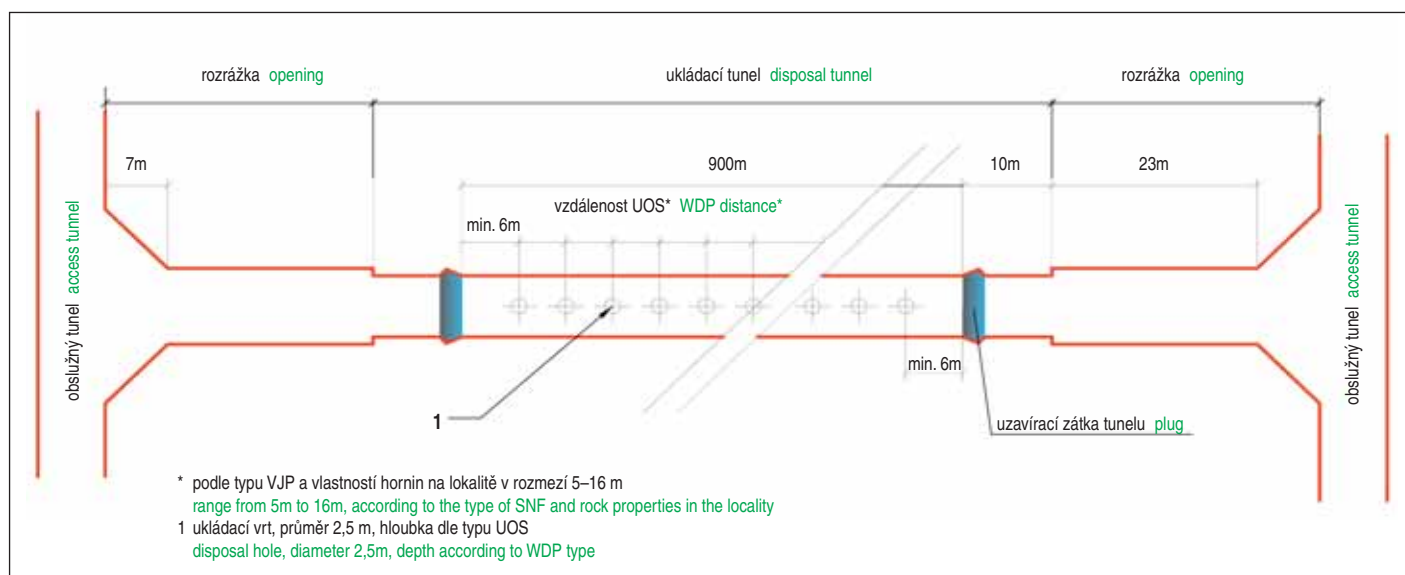
Obr. 1 Hlubinné úložiště  
Fig. 1 Deep geological repository

## POPIS STÁVAJÍCÍHO PROJEKTOVÉHO ŘEŠENÍ HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ

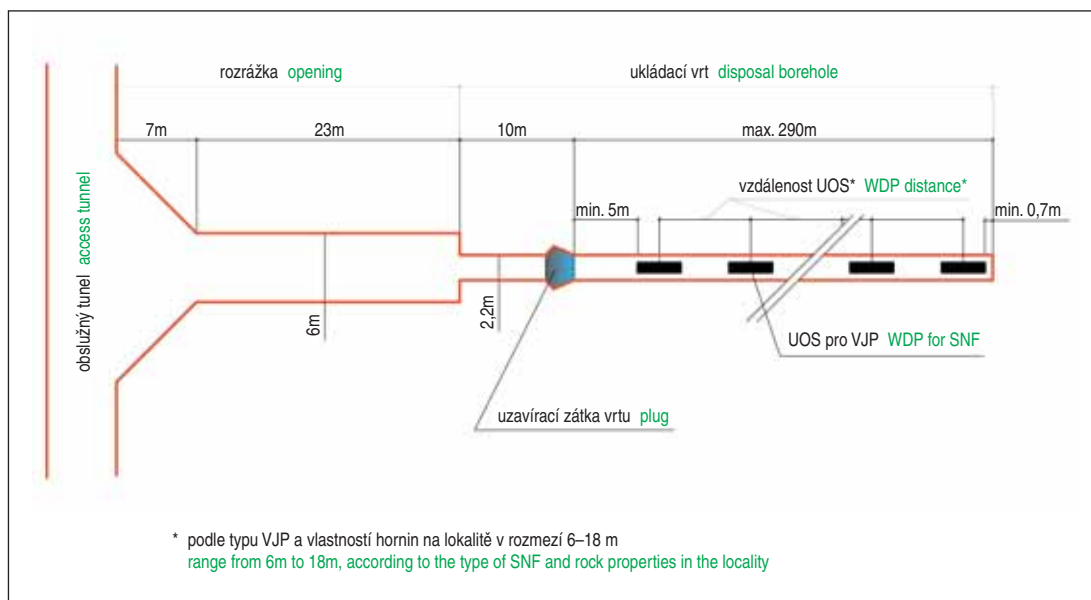
Hlubinné úložiště (obr. 1) se skládá ze dvou provozních částí s rozdílnými činnostmi při nakládání s radioaktivními látkami a rozdílnými nároky na životnost objektů a zařízení. Na ně jsou pak kladeny rozdílné nároky na provoz a životnost objektů. Povrchový areál (první provozní část), který slouží jako styčné pracoviště mezi producenty odpadu a systémem ukládacích chodeb, je tvořen objekty, zařízeními a technologiemi nezbytnými k zajištění provozu hlubinného úložiště, tj. administrativa, podpůrné technologie pro výstavbu a provoz, zajištění vnější a provozní bezpečnosti, objekty sloužící k příjmu a přeložení vyhořelého jaderného paliva (VJP) a ostatních vysoce a středně aktivních odpadů (VAO/SAO) do ukládacích obalových souborů (UOS). V povrchovém areálu budou provozovány všechny doprovodné činnosti související s provozem HÚ a zázemí pro zaměstnance. Dále slouží jako vstup do hlubinného úložiště. Povrchový areál je bezprostředně propojen s objektem horké komory, kde budou probíhat manipulace s radioaktivními odpady (RAO) a VJP od jejich převzetí po dovezení do HÚ, přes přeložení, kontrolu ukládacích obalových souborů, až po jejich expedici do ukládacího místa v podzemí. Objekty procesu příjmu a překládání radioaktivních odpadů, vč. VJP, byly uvažovány

## DESCRIPTION OF THE CURRENT DEEP GEOLOGICAL REPOSITORY PROJECT

The deep geological repository (Fig. 1) will consist of two operational parts that will fulfil different roles in the management of the radioactive waste and place different demands on the service lifetimes of the buildings and equipment. The surface complex (termed the first operational part), which will serve as the “interface” between waste producers and the waste disposal system, will consist of the buildings and equipment necessary so as to ensure the efficient operation of the deep geological repository, i.e. administration, support equipment for construction and operation purposes, external and operational safety equipment and facilities for the receiving and repackaging of spent nuclear fuel (SNF) and other high- and intermediate-level waste (HLW/ILW) into waste disposal packages (WDP). The surface area will provide for all the activities related to the everyday operation of the DGR and employee requirements, and will also serve as the entrance to the deep geological repository underground complex. Moreover, the surface area will also be directly connected to the hot-chamber building, where the radioactive waste (RAW) and SNF will be handled from the time at which it is accepted to its transfer to the DGR, including repackaging, the inspection of the WDPs and their dispatching to the underground disposal complex. The complex for the receiving and repackaging



Obr. 2 Vertikální způsob ukládání – půdorys  
Fig. 2 Vertical disposal method – plan

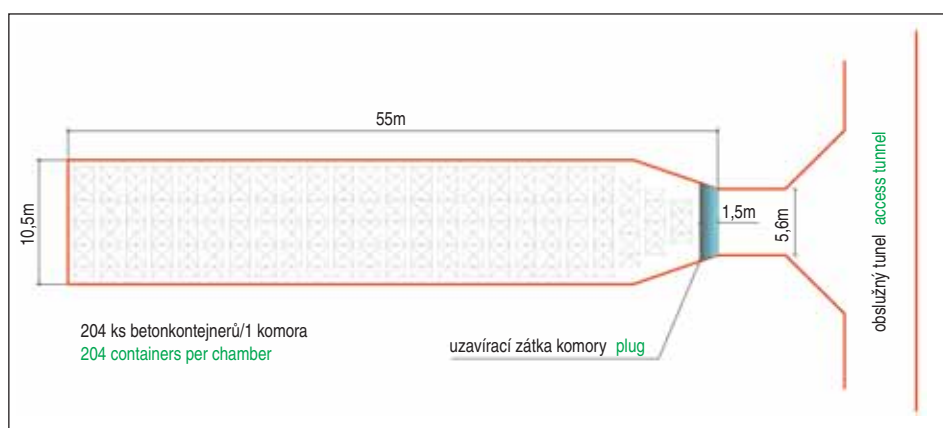


Obr. 3 Horizontální způsob ukládání – půdorys

Fig. 3 Horizontal disposal method – plan

jako přípořchové v hluboké stavební jámě, případně kaverně. V povrchovém areálu budou soustředěny i všechny řídicí technologie a procesy hlubinného úložiště od zahájení jeho výstavby až po institucionální kontrolu. Jedná se o jaderné zařízení podléhající povolení provozu podle jaderné legislativy a posouzení z environmentálního hlediska. Pro výstavbu lze aplikovat standardní stavební právo z oblasti pozemního, příp. podzemního stavitelství. Vlastní úložiště (druhá provozní část), tj. prostory, kde budou odpady uloženy, jsou umístěny v podzemí v hloubce cca 500 m (ukládacích sekcí pro VJP) a pro RAO cca 300 m pod povrchem a s povrchovým areálem jsou propojeny soustavou úpadních tunelů a svislých jam. Požadavky na umístění jsou z hlediska jaderné legislativy obecně formulovány v atomovém zákoně a souvisejících vyhláškách Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB) a doporučeních Mezinárodní agentury pro atomovou bezpečnost (IAEA).

Podzemní část pro VJP je v současné době projektována jak pro svislé ukládání do autonomních vrtů pro každý UOS (obr. 2), tak i vodorovně v dlouhých vrtech pro více UOS (obr. 3). Celý systém je tudíž tvořen soustavou tunelů a vrtů. Pro RAO je ukládací sekce v podzemí tvořena několika podzemními kavernami spojenými propojovacím tunelem (obr. 4). V kavernách budou ukládány jednotlivé obalové soubory systémem stohování a následně budou kaverna zaplněny betonovou směsí.



Obr. 4 Komora pro ukládání RAO – půdorys

Fig. 4 RAW disposal chamber – plan

of the radioactive waste, including SNF, will be constructed in a chamber below ground level and, thus, will be considered to be a near-surface facility. All the DGR management and process technology will be concentrated in the surface complex from the commencement of construction to the institutional control phase following the closure of the facility. The DGR will be considered to be a nuclear facility subject to a permit to operate in accordance with nuclear legislation and the relevant environmental assessment factors. The construction of the surface

complex, however, will be subject to standard building legislation governing surface and underground construction projects. The repository itself (the second operational part), i.e. the complex in which the waste will be disposed of, will be located underground at depths of approximately 500m (the SNF disposal section) and 300m (for the disposal of RAW) below the surface and will be connected to the surface complex via a system of inclined tunnels and shafts. The construction of the underground complex will be governed by nuclear legislation (the Atomic Act), the relevant decrees issued by the State Office for Nuclear Safety (SÚJB) and recommendations provided by the International Atomic Energy Agency (IAEA).

The current design of the underground section for the disposal of SNF considers both vertical emplacement in separate disposal wells for each WDP (Fig. 2) and horizontal emplacement in long boreholes that will house several WDPs (Fig. 3). The system will, therefore, consist of a series of tunnels and boreholes. The RAW underground disposal section will be made up of several underground caverns connected via an access tunnel (Fig. 4). The individual WDPs will be stacked one upon the other and, once the caverns reach capacity, they will be backfilled with a special concrete mixture.

## DEVELOPMENTS IN TERMS OF THE PROJECT DESIGN

The Czech deep geological repository concept, as with the Finnish and Swedish concepts, is based on a multi-barrier system in a crystalline rock environment. The system consists of:

- the form of the fuel itself;
- the waste disposal package;
- the buffer and sealing barriers in the disposal well (between the WDP and the rock);
- the backfilling of the disposal corridors in the rock massif;
- the rock massif.

With the exception of the rock massif, all the components of the engineered barrier system, together with construction materials (linings, pressure plugs, grouting, etc.), must be in physico-chemical-mechanical equilibrium with each other in order

## VÝVOJ V OBLASTI PROJEKTOVÉHO ŘEŠENÍ

Koncept hlubinného úložiště je v České republice, stejně jako např. ve Finsku a Švédsku, založen na multibariérovém systému v krystalinických horninách. Systém se skládá z:

- vlastní formy paliva;
- ukládacího obalového souboru;
- tlumicí a těsnicí bariéry v ukládacím vrtu (mezi UOS a horninou – buffer);
- výplní ukládacích chodeb v horninovém masivu (tzv. back-fillem);
- horninového masivu.

Vyjma horninového masivu jsou všechny ostatní části inženýrskými bariérami, které zároveň s konstrukčními materiály (ostění, tlakové zátky, injektáže atd.) musejí být ve vzájemné fyzikálně-chemicko-mechanické rovnováze, aby bránily, případně co nejdříve prodloužily dobu uvolnění radionuklidů do životního prostředí. Pro získání provozní licence HÚ od Státního úřadu pro jadernou bezpečnost je potřeba prokázat, že bude celý systém dlouhodobě bezpečný po dobu až stovek tisíc let.

### Aktualizace referenčního projektu 2018

Jak je uvedeno dříve, současná aktualizace referenčního projektu byla postavena na nových informacích o vlastnostech horninového masivu v lokalitách a vlastnostech VJP. Díky informacím o tepelně-mechanických vlastnostech hornin byly vypočítány bezpečné vzdálenosti jednotlivých UOS a důlních děl (Kobylka, 2019), které jsou důležité pro stanovení půdorysného rozsahu ukládacích sekcí. Pro výpočty je důležité znát také hodnoty tepelného výkonu VJP v čase a jeho celkové množství. Na základě vypočtených hodnot byly stanoveny rámcové limitní délky ukládacích chodeb a vrtů. Z definovaného požadovaného hypotetického rozsahu podzemních částí úložiště a provozních technologických celků byly dále definovány rámcové požadavky na technologické vybavení, s ohledem na výstavbu a provoz podzemní části HÚ, z nichž byly odvozeny potřebné průřezné průřezy důlních děl a dispoziční uspořádání technického zázemí v podzemí. S ohledem na požadavek minimálního narušení okolí výrubu, rozvoji „Excavation damage zone“ (EDZ) byly vypracovány dvě varianty řešení podzemní části při použití plně mechanizované ražby (TBM) hlavních tunelů a ukládacích chodeb pro svislý i vodorovný způsob ukládání UOS. S ohledem na optimalizaci velikosti výrubů (příčných profilů tunelů a chodeb) byly zpracovány další dvě varianty pro ražbu konvenčním způsobem, za předpokladu použití trhacích prací s hladkým výlomek (D&B) (Grünwald et al., 2018).

### Referenční řešení na konkrétních lokalitách

Pro potřeby současné fáze přípravy HÚ – vyhodnocení vhodnosti potenciálních lokalit a zúžení jejich počtu pro další etapu prací, bylo nezbytné pro každou lokalitu zpracovat „Studii umístitelnosti/proveditelnosti“ (příklad Špinka et al., 2018), které vycházejí z aktualizace referenčního projektu (Grünwald et al., 2018) a z využití průzkumných a výzkumných prací na jednotlivých lokalitách, zejména v oblasti geologické a tektonické stavby. Výsledkem je návrh umístění podzemních částí v definovaných potenciálně vhodných horninových blocích na každé lokalitě (Franěk et al., 2018). Na tento postup úzce navazuje řešení prostorových možností v území lokality z hlediska střetů zájmů a dostupnosti dopravní a technické infrastruktury, s ohledem na potenciálně možné umístění povrchového areálu. Pro potenciálně vhodné lokalizace povrchových areálů byly zpracovány inženýrskogeologické (IG) mapy ve fázi orientačního souhrnu informací s přehledným geofyzikálním řezem.

to prevent (or minimise the time of) the release of radionuclides into the environment. In order to obtain an operating licence for the DGR from the State Office for Nuclear Safety, it will be necessary to prove that the whole of the disposal system will remain safe over the long term, i.e. for up to hundreds of thousands of years.

### Update of the reference project 2018

As mentioned previously, the current update of the reference project was based on new information obtained on the properties of the rock massifs at the candidate sites and the properties of the SNF to be disposed of. Safe distances between individual WDPs and the mine workings were subsequently calculated based on information on the thermo-mechanical properties of the various rock environments (Kobylka, 2019), information that is essential with respect to determining the layout of the disposal areas. Moreover, the calculations also required a detailed knowledge of the thermal output values of the SNF both in total and over time. The results subsequently allowed for the determination of the framework limits of the lengths of the disposal corridors and the boreholes. Based on the defined required hypothetical extent of the underground sections of the repository, it was then possible to define the framework requirements for the technical equipment that will be needed for the construction and operation of the underground sections of the DGR, and to determine the necessary transit cross-sections of the mine workings and the positioning of the equipment. With regard to the requirement for the minimum disturbance of the surroundings of the excavated rock, i.e. the development of the excavation damage zone (EDZ), two underground complex variants are being considered involving the fully mechanised excavation (TBM) of the main tunnels and disposal corridors for both the vertical and horizontal WDP emplacement options. Moreover, with a view to the optimisation of the dimensions of the excavated sections (tunnel and corridor profiles), a further two variants have been proposed involving conventional excavation methods employing the smooth blasting approach (D&B) (Grünwald et al., 2018).

### Reference designs for specific sites

With respect to the current DGR development phase – the assessment of the suitability of potential sites and the reduction in their number prior to the next phase, it was necessary to prepare feasibility studies (example in Špinka et al., 2018) for each site based on the update of the reference project (Grünwald et al., 2018) and the use of the results of research and investigation studies of each site, especially with concern to geological and tectonic considerations. The result consisted of proposals for the location of the underground sections in defined potentially suitable rock blocks for each site (Franěk et al., 2018). This procedure was followed by the consideration of the various spatial options at each site in terms of conflicts of interest and the availability of transport and technical infrastructure in connection with the potential location of the surface complex. Engineering geology maps were prepared in the orientation information summary phase to identify a well-arranged geophysical section for the optimum positioning of the surface facilities at the sites.

The reference studies of the sites subsequently formed the basis for the assessment of operational safety and, especially, the environmental assessment of each of the sites.

The current design variants for each of the candidate sites served for the preliminary assessment of the feasibility of the repository, as the basis for subsequent model calculations for hydrogeological and transport safety certification purposes (e.g. Baier et al., 2018) and for the definition and assessment of the required compatibility properties of the candidate materials to be used in the construction of the various structures and engineered barriers of the DGR. The completion of the

Toto referenční řešení v lokalitě je podkladem pro vyhodnocení podmínek provozně-bezpečnostních a zejména environmentálního hodnocení záměru v každé lokalitě.

Současné projektové řešení na potenciálních lokalitách slouží ke zhodnocení předběžné proveditelnosti úložiště a jako vstupní podklad pro následné modelové výpočty k hydrogeologickým a transportním průkazům bezpečnosti (např. Baier et al., 2018) a definování, případně posouzení, požadovaných vlastností slučitelnosti kandidátních materiálů pro konstrukce a inženýrské bariéry. Na zpracované projektové řešení v každé lokalitě navazuje *Studie hodnocení vlivu na životní prostředí* (Marek P., 2018), která je strukturovaná podle požadavků přílohy zákona o posuzování vlivů na životní prostředí. Tyto studie v současné fázi řešení HÚ slouží jako pilotní zprávy, které mapují jednotlivé oblasti procesu posuzování a míry nejistot znalosti informací, a podklad pro další rozvoj prací a směřování získání dalších podkladů pro navazující etapu prací.

### Inženýrské bariéry

Nejdůležitější inženýrskou bariérou je ukládací obalový soubor (UOS), v němž jsou uloženy palivové články s vyhořelým jaderným palivem. Návrh UOS je stále předmětem samostatného výzkumu a vývoje v ČR. Referenční variantou, která je také nejvíce testována, je dvouplášťový UOS, kde vnější vrstvu tvoří uhlíková ocel, a vnitřní pouzdra jsou z korozivzdorné oceli.

Navazující inženýrskou bariérou je buffer, který utěsňuje prostor mezi UOS a horninou v ukládacím vrtu a brání jej proti vlivu podzemní vody (Savage et al., 1999), mikrobiální korozi a účinkům seismicity. Referenčním materiálem je bentonit, který díky svým hydromechanickým a geochemickým vlastnostem prostor vyplní a celé místo dostatečně utěsní tak, aby transport vody probíhal pouze difuzí a bylo zabráněno mechanickému poškození UOS a mikrobiologické korozi. Výzkum v oblasti vývoje bufferu pro potřeby HÚ probíhá na SÚRAO již od roku 1999 a je primárně zaměřen na využití materiálů z lokálních (národních) zdrojů. V současné době probíhají v této oblasti v ČR jak menší laboratorní testy, tak i několik velkých in-situ demonstračních a materiálově interakčních experimentů v podzemních laboratořích.

Backfill je také bentonitovou inženýrskou bariérou. Tato bariéra slouží k vyplnění ukládacích chodeb a nebude tak v přímém kontaktu s UOS, ale bude v přímém kontaktu s bufferem. Bezpečnostní funkcí backfillu je utěsnění a uzavření zajištění polohy bufferu na svém místě (aby v případě nabobtnání nedocházelo ke ztrátě tlaku a tím jeho těsnicí funkce) a omezení transportu vody v zaplněných prostorách; pohyb vody by měl probíhat opět pouze difuzí. V České republice je výzkum v oblasti bentonitu v současnosti primárně zaměřen na vývoj bufferu, který je však schopný poskytnout potřebné informace využitelné i pro backfill, na něž jsou kladeny nižší požadavky než na buffer.

### Konstrukční prvky

Části úložiště, které nebudou vyplněny inženýrskými bariérami (UOS, buffer), budou při procesu uzavírání úložiště trvale vyplněny vhodným materiálem – backfillem (předpokládá se bentonit, případně směs bentonitu s kamenivem). Systém výplně bude doplněn o zátky, které budou mít rozdílné funkce v závislosti na bezpečnostních požadavcích na ně kladených, na jejich charakteru a umístění (např. hydraulické, mechanické, dělicí atd.).

Pro budoucí výstavbu HÚ je také nutné zabývat se konkrétními konstrukčními materiály (beton) a prvky (např. výztuž a injektáž). Jedná se především o cementové a kovové materiály, které musí splňovat nejen požadavky z hlediska chemických a mechanických vlastností, ale také vzájemných interakcí s dalšími materiály a prvky v HÚ.

project design variants for each site were followed by the conducting of *Environmental Impact Assessment Studies* (Marek P., 2018), which were structured according to the requirements of an appendix to the Environmental Impact Assessment Act. In the context of the current DGR development phase, these studies serve as pilot reports that map out the individual areas of the assessment process and the level of uncertainty of the knowledge obtained to date, and provide the basis for further research and the determination of the approach to be adopted with respect to obtaining the documentation required for the subsequent research phase.

### Engineered barriers

The most important engineered barrier consists of the waste disposal package (WDP) in which the spent nuclear fuel rods will be disposed of. The final design of the WDP has not yet been decided and remains the subject of detailed research and development in the Czech Republic. The reference, and most intensively tested, variant consists of a double-walled WDP with an outer layer made of carbon steel and an inner stainless steel container.

The next engineered barrier consists of the so-called buffer that will seal the space between the WDP and the rock in the disposal well and that will protect it from the negative effects of contact with groundwater (Savage et al., 1999), microbial corrosion and seismicity. The reference material is bentonite which, due to its unique hydromechanical and geochemical properties, will swell so as to fill the disposal space, thus ensuring that the transport of water will occur via diffusion only and preventing the mechanical damage of the WDP and microbiological corrosion. Research into the development of the DGR buffer material has been underway at SÚRAO since 1999 and is primarily focused on the use of materials from local (Czech) resources. Several small-scale laboratory experiments and large-scale in-situ demonstration and material interaction experiments (conducted at underground laboratories) are currently underway on the buffer material in the Czech Republic.

A further bentonite engineered barrier consists of the so-called backfill. This barrier will serve for the filling of the disposal corridors and, thus, while it will not be in direct contact with the WDPs, it will be in direct contact with the buffer. The safety function of the backfill will be to seal and fix the buffer in place (so as to prevent a loss of pressure in the buffer following swelling and, thus, a reduction in its sealing ability) and to reduce the transport of water in the disposal space; again, it is anticipated that the movement of water will be via diffusion only. While the research of bentonite in the Czech Republic is currently primarily focused on the development of the buffer, the research is also able to provide the information necessary for the backfill, which is subject to lower requirements than the buffer.

### Structural elements

Those parts of the repository that will not contain the engineered barriers (WDPs, buffer) will be permanently backfilled with a suitable material (bentonite or a mixture of bentonite and aggregates) during the repository closure phase. The backfill system will be supplemented with plugs which will have different functions depending on the safety requirements placed on them, their character and their position in the facility (e.g. hydraulic, mechanical, separation plugs, etc.).

It is also necessary to consider the various construction (concrete) and other structural materials (e.g. reinforcement and grouting) that will be used in the future DGR. This concerns principally cement and metal materials which will be required to meet strict requirements in terms of their chemical and mechanical properties and their interaction with other materials and structural elements in the DGR.

## DISKUSE PROBLEMATIKY A ZÁVĚR

V roce 2018 byl znovu aktualizován referenční projekt na základě nových poznatků, zejména parametrů horninového masivu na potenciálních lokalitách, a nových poznatků o vyhořelém jaderném palivu. Vznikla tak „*Optimalizace podzemní části HÚ*“, která byla podrobena zahraniční oponentuře finskou společností POSIVA SOLUTIONS Oy. Podpůrným podkladem byla též konkrétní zpráva *Studie umístitelnosti v lokalitě Březový potok*. Na základě této revize bylo konstatováno, že další kvalitativní posun projektového řešení HÚ v České republice může pokračit v návaznosti na postupu průzkumných prací v lokalitách, s postupným doplňováním geologických dat z hloubek (po roce 2020 na zúženém počtu lokalit, po roce 2025 daty z finální lokality) a v návaznosti na výsledky programu výzkumu a vývoje v oblasti materiálů a inženýrských bariér.

Navíc v roce 2019, v rámci procesu hodnocení vhodnosti lokalit, bylo přihlédnuto k novým výsledkům terénního geofyzikálního ověřování litologických a tektonických struktur na lokalitách a nové poznatky byly přeneseny do aktualizace studií umístitelnosti v lokalitách (po odevzdání článku; prosinec 2019 – leden 2020), které se promítly zejména do geometrického uspořádání a prostoroového umístění podzemní části úložiště a spojovacích tunelů s povrchovým areálem.

Projektové řešení HÚ je multidisciplinární projekt, a proto je nutné k němu i takto přistupovat. Oblast podzemního stavitelství je zde jednou, avšak ne jedinou oblastí, které je nutné věnovat pozornost. Důležitou roli při tvorbě projektového řešení hraje např. geochemie prostředí a vzájemná interakce použitých materiálů. Zahraniční revize poskytla také kritické zhodnocení provedené zprávy a vymezila oblasti, kterým je třeba se detailněji věnovat. Mezi ně patří především již výše zmíněné možné interakce použitých konstrukčních materiálů s materiály inženýrských bariér, konstrukce a umístění zátek a celý systém procesu uzavírání úložiště.

Těmto podnětům bude věnována zvýšená pozornost a budou zohledněny v navazujících fázích projektu.

**Ing. MARKÉTA DOHNÁLKOVÁ, dohnalkova@surao.cz,**  
**Ing. JAROMÍR AUGUSTA, Ph.D., augusta@surao.cz,**  
*Správa úložišť radioaktivních odpadů*

Recenzoval *Reviewed:* Ing. Ilona Pospíšková

## DISCUSSION AND CONCLUSION

In 2018, the reference project was updated once more based on new knowledge obtained, especially with concern to the rock mass parameters at the candidate sites and the spent nuclear fuel that will be disposed of. This resulted in the compilation of the “*Optimisation of the Underground Part of the DGR*” report that was subjected to foreign scrutiny at SÚRAO’s request by the Finnish company POSIVA SOLUTIONS Oy, together with a further supporting report entitled the *Březový Potok Siting Study*”. The results of the foreign review of these reports indicated that a further qualitative shift in the progress of the DGR project in the Czech Republic should proceed with the conducting of exploration work at the sites that will provide geological data from the required depths (after 2020 from a reduced number of sites and, after 2025, from the final site) and in connection with the results of the research and development of materials and engineered barriers.

In addition, in 2019, as part of the site suitability assessment process, the latest results of the field geophysical verification of the lithological and tectonic structures at the sites were transferred to the updated siting studies (following the submission of the article; December 2019 – January 2020). The results reflected primarily the geometric arrangement and spatial location of the underground part of the repository and the tunnels that will connect the underground and surface complexes.

The DGR development project is a multidisciplinary project, concerning which the issue of underground construction is just one of a number of areas that need to be addressed; for example, the geochemistry of the underground environment and the mutual interaction of the various materials will play important roles in the determination of the final design of the DGR. The aforementioned foreign review also provided a critical assessment of the “*Optimisation of the Underground Part of the DGR*” report and identified areas that need to be addressed in more detail including, in particular, the previously mentioned potential interaction of the construction materials used for the engineered barriers, the construction and positioning of the plugs and the repository closure process.

Detailed attention will be devoted to these issues and they will be fully taken into account in the subsequent phases of the DGR development project.

**Ing. MARKÉTA DOHNÁLKOVÁ, dohnalkova@surao.cz,**  
**Ing. JAROMÍR AUGUSTA, Ph.D., augusta@surao.cz,**  
*Správa úložišť radioaktivních odpadů*

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] BAIER, J., et al. *Hydrogeologické modely horninového prostředí pro hlubinné úložiště, pasport detailního modelu – lokalita Březový potok*. MS SÚRAO TZ 340/2018
- [2] FRANĚK, J., et al. *3D strukturně geologické modely potenciálních lokalit HÚ*. MS SÚRAO TZ 229/2018
- [3] GRÜNWARD, L., et al. *Optimalizace podzemních částí HÚ referenčního projektu*. MS SÚRAO TZ, 2018,134/2017
- [4] HOLUB, J., et al. *Referenční projekt povrchových i podzemních systémů hlubinného úložiště v hostitelském prostředí granitových hornin v dohodnuté skladbě úvodního projektu a hloubce projektové studie*. Projektová studie. Uh. Brod : EGP Invest, spol. s r. o., 1999, 1085 s.
- [5] KOBYLKA, D. *Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS*. MS SÚRAO TZ, 2019, 135/2017
- [6] MAREK, P. *Studie vlivů na životní prostředí – Březový potok*. MS SÚRAO TZ, 2018, 146/2017
- [7] POSPÍŠKOVÁ, I., et al. *Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě*. Závěrečná zpráva. Praha : ÚJV Řež, a. s., 2012
- [8] SAVAGE, D., LIND, A., ARTHUR, R. *Review of the properties and use of bentonite as a buffer and backfill material*. SKI report 98233, 1999, Stockholm
- [9] ŠPINKA, O., et al. *Studie umístitelnosti v lokalitě Březový potok*. MS SÚRAO TZ, 2018, 139/2017

# PVP BUKOV – GENERICKÁ LABORATOŘ PRO PODPORU PROJEKTU HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ

## BUKOV URF – A GENERIC LABORATORY FOR THE SUPPORT OF THE DEEP GEOLOGICAL REPOSITORY PROJECT

JAN SMUTEK, LUKÁŠ VONDRŮVIC, JAROMÍR AUGUSTA

### ABSTRAKT

SÚRAO podporuje rozsáhlý program výzkumných, vývojových a demonstračních aktivit souvisejících s procesem přípravy českého hlubinného úložiště radioaktivních odpadů. Aktivity SÚRAO v České republice jsou v posledních letech spojeny s celkem třemi generickými podzemními pracovišti, které se nacházejí v horninách krystalinika, nicméně nejdůležitější roli nyní plní Podzemní výzkumné pracoviště (PVP) Bukov. Tato podzemní laboratoř se jako jediná nachází v hloubce pod povrchem odpovídající cílové hloubce umístění ukládacích chodeb v hlubinném úložišti, a to okolo 500 m. Z přehledu a specifikací aktuálně provozovaných světových laboratoří v prostředí krystalinika je patrná unikátnost PVP Bukov. Už samotná výstavba a výzkumné práce provedené v průběhu výstavby poskytly SÚRAO velmi důležitá data a zkušenosti. Experimentální program této laboratoře, zahájený v roce 2017, obsahuje rozsáhlé spektrum činností spojených s projektem hlubinného úložiště. Mimo prostor PVP Bukov na 12. patře dolu Rožná I je v současné době využíváno i některých dalších původních důlních děl nacházejících se v hloubce až 1200 m pod povrchem.

### ABSTRACT

SÚRAO is providing support for an extensive programme of research, development and demonstration activities related to the development of the Czech deep geological repository for radioactive waste. In recent years, while SÚRAO's activities in the Czech Republic have been linked to a total of three generic underground facilities located in crystalline rock environments, the most important role is currently played by the Bukov Underground Research Facility (URF). This underground laboratory is the only one of the facilities located at a depth below the surface corresponding to the expected depth of the disposal corridors of the future deep geological repository, i.e. around 500m. The construction of the Bukov URF and the research work conducted during the construction phase provided SÚRAO with very important data and experience. The experimental programme of the Bukov laboratory, launched in 2017, includes a wide range of activities related to the deep geological repository project. In addition to the Bukov URF underground complex, situated on level 12 of the Rožná I mine, other former mine workings located at depths of up to 1200m below the surface are also currently being used for experimental purposes.

### ÚVOD

Jednou z klíčových činností Správy úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO) je projekt hlubinného úložiště (HÚ), které bude sloužit pro uložení všech radioaktivních odpadů, jež není možné uložit do povrchových a přípovrchových úložišť. České HÚ má být zbudováno v horninovém prostředí krystalinika (vyvrělé nebo přeměněné horniny) v hloubce okolo 500 m pod povrchem. Technické řešení je stále ve fázi vývoje a je založeno na multibariérovém konceptu, který zahrnuje systém inženýrských bariér. HÚ bude obsahovat vyhořelé jaderné palivo umístěné do ukládacího obalového souboru (UOS) z kovových materiálů. Aktuálně se uvažuje, že UOS by měl obsahovat části z uhlíkové (pro vnější plášť) a nerezové oceli (vnitřní pouzdro). Ostatní vysokoaktivní odpady určené pro uložení v HÚ by měly být umístěny do obalového souboru na bázi betonu. UOS budou usazeny do svislých nebo horizontálních velkoprofilových vrtů, ve kterých budou obklopeny vrstvou bentonitu. Bentonit by měl být dále použit i jako výplňový materiál pro obslužné a přístupové podzemní prostory, které budou po skončení procesu ukládání zatěsněny. Pro tyto účely se zvažuje použití českých bentonitů, proto je materiál z českých ložisek dlouhodobě a extenzivně testován ve výzkumném programu SÚRAO.

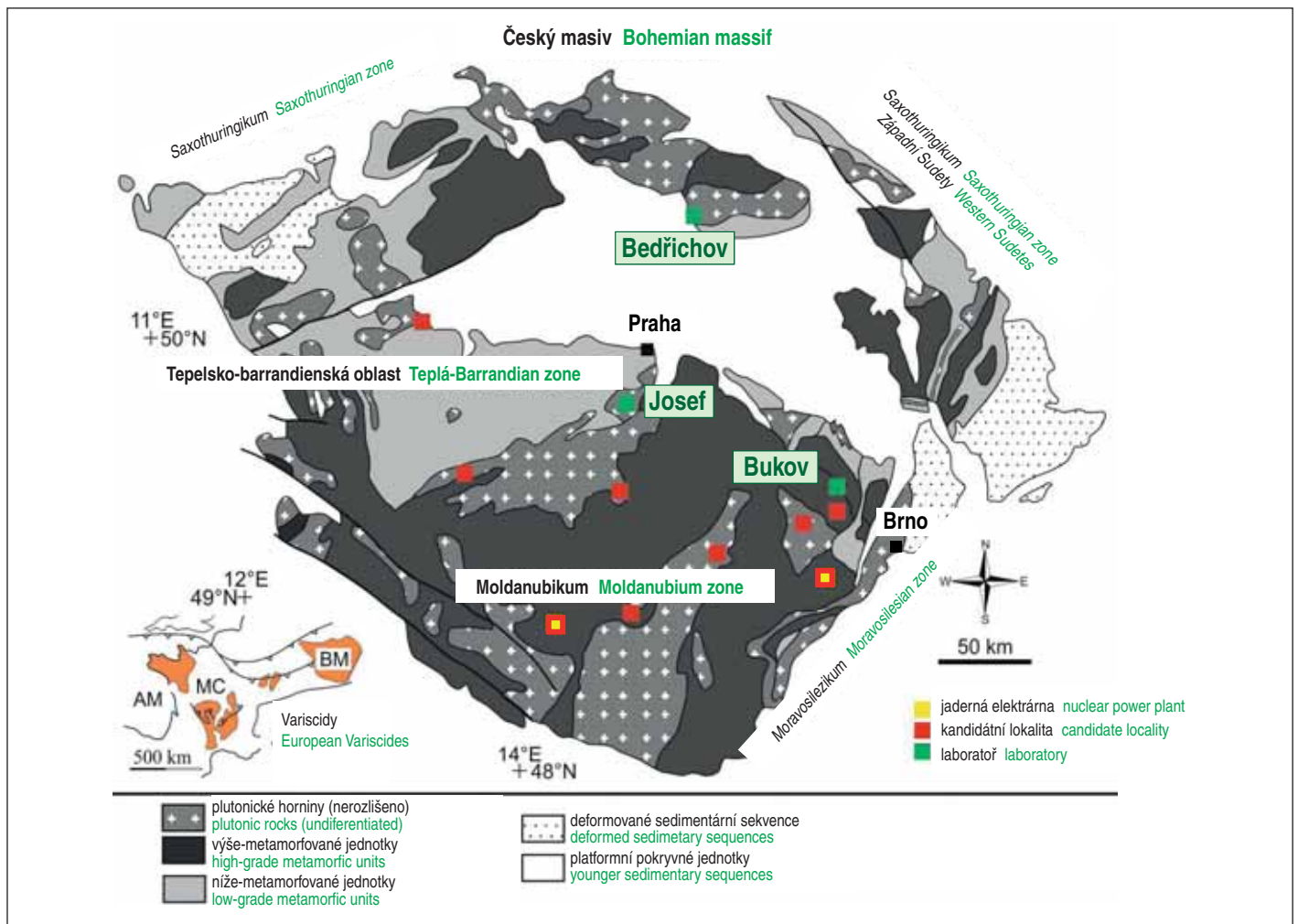
Aktuálně probíhá systematický proces výběru a hodnocení kandidátních lokalit pro umístění HÚ. Proces zahrnuje detailní průzkum a výzkum pro ověření možností vybudovat HÚ na devíti kandidátních lokalitách. Program uvažuje, že počet kandidátních lokalit bude postupně redukován, nejprve na čtyři lokality (ve

### INTRODUCTION

One of the key activities of the Czech Radioactive Waste Repository Authority (SÚRAO) concerns the development of the country's deep geological repository (DGR), which will serve for the disposal of that radioactive waste that cannot be disposed of in surface or near-surface repositories. It is anticipated that the Czech DGR will be built in a crystalline rock environment (igneous or metamorphic rocks) at a depth of around 500m below the surface. The determination of the final technical design of the DGR is currently in the development phase and is based on a multi-barrier concept that includes a system of engineered barriers. The DGR will serve for the disposal of spent nuclear fuel emplaced in metal waste disposal packages (WDP). It is currently thought that the WDP will include carbon (outer casing) and stainless steel (inner casing) components. It is planned that other high-level waste destined for disposal in the DGR will be emplaced in concrete-based WDPs. The WDPs will be inserted into vertical or horizontal large-profile boreholes and surrounded by a layer of bentonite. Moreover, it is planned that bentonite will also be used as the filling material for the service and access underground areas that will be sealed following the end of the disposal phase. Since it is expected that Czech bentonites will be used for this purpose, various materials extracted from Czech deposits have been subjected to extensive testing over recent years as part of the SÚRAO research programme.

A systematic process is currently underway concerning the selection and assessment of candidate sites for the construction of the Czech DGR, which includes detailed research and investigation





Obr. 1 Schematická geologická mapa Českého masivu s vyznačením kandidátních lokalit pro umístění HÚ a podzemních laboratoří  
 Fig. 1 Schematic geological map of the Bohemian Massif showing candidate sites for the construction of the DGR and underground laboratories

kterých budou pokračovat průzkumné práce, např. za pomoci hlubinných vrtů), a poté na dvě vhodné lokality. Všechny kandidátní lokality se nacházejí v horninách krystalinika Českého masivu (obr. 1).

Projekt českého HÚ zahrnuje obsáhlý program určený pro získání vstupních podkladů nezbytných pro návrh a prokázání bezpečnosti a proveditelnosti zvoleného konceptu HÚ. Některá data pro potřeby vývoje HÚ lze získat pouze v reálném horninovém prostředí a pro tyto účely jsou využívána podzemní výzkumná pracoviště/laboratoře. Pro výzkumné, vývojové a demonstrační (RD&D) aktivity je možné využít v České republice podzemní pracoviště nacházející se v prostředí odpovídajícím českému konceptu HÚ, tedy v horninách krystalinika. Další možností je participace na projektech v zahraničních podzemních pracovištích. V minulosti SÚRAO podporovala výzkumné činnosti v tunelu Bedřichov, dále lze za určitých podmínek využít podzemní laboratoř Josef a od roku 2017 probíhá experimentální program v Podzemním výzkumném pracovišti (PVP) Bukov, kam je nově směřována většina výzkumných aktivit zahrnujících in-situ experimenty.

Tento článek obsahuje přehled provozovaných podzemních laboratoří v krystalinických horninách ve světě, aktuální informace o činnostech podporovaných SÚRAO v rámci programu přípravy HÚ v českých podzemních výzkumných pracovištích. Dále jsou zde představeny hlavní činnosti v PVP Bukov a uvedeny přínosy aktivit pro proces přípravy HÚ.

work aimed at verifying the potential for the construction of the DGR at nine candidate sites. The development programme anticipates that the number of candidate sites will be reduced first to four sites (where investigation work will continue, e.g. with the drilling of deep boreholes) and, subsequently, to two suitable sites. All the candidate sites are located in rocks of the Bohemian Massif crystalline complex (Fig. 1).

The Czech DGR project includes a comprehensive programme designed so as to determine the various input materials necessary for the final design of the facility and the demonstration of the safety and feasibility of the selected DGR concept. Much of the data required for DGR development purposes can only be obtained from the real rock environment involving the use of underground research facilities/laboratories. Currently, underground facilities in the Czech Republic located in environments that correspond to those anticipated in the Czech DGR concept, i.e. in crystalline rocks, are being used for research, development and demonstration (RD&D) purposes. Moreover, SÚRAO is also extensively involved in a number of research projects underway in foreign underground facilities. While in the past, SÚRAO provided support for research conducted in the Bedřichov tunnel, and the Josef underground laboratory is available for research under specific conditions, since 2017 most of SÚRAO's experimental programme, particularly in-situ experimentation, has been conducted at the Bukov Underground Research Facility (URF).

This article presents an overview of operational underground laboratories located in crystalline rocks both in the Czech Republic and abroad, as well as up-to-date information on research supported

## PODZEMNÍ LABORATOŘE V ČESKÉ REPUBLICĚ A V ZAHRANIČÍ

V souvislosti s přípravami HÚ jsou ve světě provozovány podzemní laboratoře/pracoviště (označované jako URL – underground research laboratory, nebo URF – underground research facility), sloužící pro RD&D aktivity spojené například s charakterizací lokalit pro výstavbu HÚ, vývojem technologií, nebo demonstrací technické připravenosti (NEA-OECD, 2013). Konkrétně se pak laboratoře využívají pro vývoj metodik popisu horninového prostředí, zhodnocování proveditelnosti a optimalizaci jednotlivých částí úložiště. Výzkum napomáhá zlepšit porozumění procesům v horninovém masivu a v inženýrských bariérách. Data získaná při in-situ měřeních slouží ke snížení nejistot matematických modelů prokazujících bezpečnost konceptu. Dále také dochází ke zvýšení důvěryhodnosti u veřejnosti a vznikají příležitosti zapojit se do mezinárodních projektů. V neposlední řadě laboratoře jednoduše poskytují prostor pro trénink a výchovu expertů v předemných oblastech.

Laboratoře je možné rozdělit na dva základní typy. Na jedné straně existují laboratoře specifické (site-specific), které se nacházejí v blízkosti budoucího HÚ v cílové horninové formaci. Jejich účelem je prokázat bezpečnost a technickou proveditelnost HÚ v konkrétním prostředí. Speciální laboratoři tohoto typu je tzv. konfirmační laboratoř. To je laboratoř zbudovaná přímo uvnitř komplexu podzemních prostor HÚ, která je nutná pro získání licence pro umístění jaderného zařízení (ČR plánuje zbudování této laboratoře). Druhým typem jsou laboratoře generické, ty slouží například pro vývoj metodik pro charakterizaci hornin a vyhodnocení dlouhodobé bezpečnosti, nebo ověřování a demonstrace plánovaných technolo-

by SÚRAO with respect to the DGR development programme at Czech underground research facilities. Furthermore, the article presents the main research projects underway at the Bukov URF and the benefits of the research for the DGR development process.

## UNDERGROUND LABORATORIES IN THE CZECH REPUBLIC AND ABROAD

Underground laboratories/facilities (referred to as URLs – underground research laboratories and URFs – underground research facilities), which are in operation in a number of countries in connection with DGR construction, serve for RD&D purposes related, for example, to the characterisation of potential DGR sites, the research of the related technology and the demonstration of technical preparedness (NEA-OECD, 2013). More specifically, such laboratories are used to develop methodologies for the detailed description of the rock environment, the assessment of feasibility and the optimisation of individual sections of the repository. The research contributes to improving the understanding of the processes that can be expected to occur both in the rock massif and the engineered barriers. The data obtained from in-situ measurements serves to reduce the uncertainty of the mathematical models constructed for the demonstration of the safety of the DGR concept. Further, such research serves to enhance the level of public credibility and opportunities to participate in prestigious international projects. Finally, such laboratories provide for the training of experts in the relevant areas of expertise.

Underground laboratories can be divided into two basic types. The first type consists of site-specific laboratories that are located near the future DGR site in the target rock formation, the purpose

Tab. 1 Přehled dalších zásadních provozovaných laboratoř v krystalinickém horninovém prostředí

laboratoř	země	provozovatel	typ laboratoře	hloubka (m)	specifikace	zahájení provozu	další informace
Josef	ČR	ČVUT	generická	90–150	sít podzemních chodeb vzniklých při průzkumných činnostech zlatonosného ložiska	2007	Výhody: kvalitní laboratorní zázemí a infrastruktura v podzemí, horizontální způsob dopravy do podzemí (možnost využití běžných dopravních prostředků). Nevýhody: pouze část prostor se nachází v horninách krystalinika a z toho velká část je již obsazena experimenty, živý oběh vod komunikujících s povrchem.
Bedřichov	ČR	hlavní řešitel výzkumu: Technická univerzita v Liberci	generická	140	vodárenský přivaděč	výzkum TUL od r. 2009	Výhody: obsahuje části vytvořené pomocí TBM a části vytvořené odstřely (možnosti srovnávání). Nevýhody: omezená možnost technických prací a větších zásahů do masivu.
Grimmel Test Site	Švýcarsko	NAGRA	generická	450	prostory laboratoře vytvořené z prostoru přístupového tunelu hydroelektrárny	1984	Výhody: technické zázemí přímo v podzemí navazující na prostory podzemní laboratoře, horizontální doprava do podzemí běžnými prostředky, chodby vytvořené TBM. Nevýhody: zhoršená dostupnost v zimním období.
Äspö HRL	Švédsko	SKB	generická	220, 340, 450	cíleně vytvořené prostory z povrchu	1995	Výhody: laboratorní chodby ve více hloubkových úrovních, možnost dopravy přístupovým tunelem nebo šachtami. Pokračování provozu laboratoře je nejisté.
Onkalo	Finsko	Posiva	specifická	420–500	konfirmační pracoviště vybudované při ražbě komplexu HÚ	2004	Pro vlastní aktivity zahraničních subjektů nepřístupná.
KURT	Korea	KAERI	generická	120	cíleně vytvořené prostory z povrchu	2006	Národní RD&D program zde pokračuje.
Mizunami	Japonsko	JAEA	generická	300, 500	cíleně vytvořené prostory z povrchu	2012	Plánuje se uzavření laboratoře.
Beishan Exploration Tunnel	Čína	CNNC	generická	50	cíleně vytvořené prostory z povrchu	2016	Místo pro testování technologií a ověření vlastností masivu vybraného pro konstrukci specifické laboratoře.

gií a materiálů. Generické laboratoře nemají přímou vazbu k finální lokalitě HÚ a využívají se v brzkých fázích příprav HÚ. Často jsou pro tyto laboratoře využívány podzemní prostory původně určené pro jiné účely.

Aktivity SÚRAO v ČR jsou v posledních letech spojeny s celkem třemi generickými pracovišti. Jedná se o tunel Bedřichov, podzemní laboratoř Josef a PVP Bukov. Na obr. 1 je vyznačena jejich pozice v Českém masivu společně s kandidátními lokalitami pro české HÚ. V České republice je za určitých podmínek možné pro RD&D aktivity využít tunelu Bedřichov nebo podzemní laboratoř Josef, ale obě tato generická podzemní pracoviště nejsou ve vlastnictví SÚRAO a možnosti jsou zde omezené vzhledem k jiným původním účelům těchto podzemních prostor (tunel Bedřichov = vodárenský přivaděč, podzemní laboratoř Josef = prostor pro výuku studentů a vlastní výzkumné aktivity) a vzhledem k omezenému dostupnému prostoru a režimu. Přestože se obě tato pracoviště nacházejí v prostředí krystalinika, jejich nevýhodou je ovlivnění přípoверхovou zónou hornin; experimenty je možné provádět v maximální hloubce 150 m. V tomto směru je ideálním pracovištěm PVP Bukov, které se nachází v hloubce odpovídající HÚ (550 m).

V Evropě existuje pouze velmi malý počet podzemních laboratoří v krystalinických horninách ve smyslu potenciálního provádění vlastních experimentů. Mezi ně patří Äspö Hard Rock Laboratory (HRL) ve Švédsku. Tato generická laboratoř v granitických horninách v maximální hloubce 450 m má nejasnou budoucnost vzhledem k přesměrování aktivit spojených s přípravou švédského HÚ do vybrané finální lokality. Dále je možné zmínit Onkalo Underground Rock Characterisation Facility ve Finsku, což ale není generická

of which is to demonstrate the safety and technical feasibility of the DGR in a specific environment. This category includes so-called confirmatory laboratories that are located directly within the DGR underground facility complex, and which are necessary in order to obtain a licence for the subsequent construction of the DGR (nuclear facility). Such a laboratory is planned in the Czech Republic. The second type consists of so-called generic laboratories that are used, for example, for the development of methodologies concerning the characterisation of the rock massif, the assessment of long-term safety and the verification and demonstration of technologies and materials. Generic laboratories do not have a direct link to the final DGR site and are used in the early stages of DGR development programmes. In many cases, underground facilities originally intended for other purposes are used for the hosting of such laboratories.

In recent years, SÚRAO's research in the Czech Republic has involved a total of three generic sites, i.e. the Bedřichov tunnel, the Josef underground laboratory and the Bukov URF. Fig. 1 illustrates their positions in the Bohemian Massif together with the locations of the Czech DGR candidate sites. Under certain conditions it is possible to use the Bedřichov tunnel and the Josef underground laboratory for RD&D activities; however, neither of these generic underground facilities are owned by SÚRAO and the research options are limited due to the original purposes of these sites (the Bedřichov tunnel = water supply conduit, and the Josef underground laboratory = the education of university students and own research activities) and the limited space and services available. Although both facilities are located in crystalline environments, the disadvantage in both cases is the influence of the surface rock zones; experiments can be conducted at a maximum depth of 150m. Thus, the Bukov URF,

Tab. 1 Overview of other major laboratories operating in crystalline rock environments

laboratory	country	operator	type of laboratory	depth (m)	specification	start of operation	other information
Josef	Czech Rep.	Czech Technical University	generic	90–150	a network of underground corridors created during the exploration of a gold-bearing deposit	2007	Advantages: high-quality laboratory facilities and underground infrastructure, horizontal transport to the underground areas (the option to use standard means of transport). Disadvantages: only part of the space is located in crystalline rocks, of which a large part is already occupied by experiments; the circulation of groundwater in communication with the surface.
Bedřichov	Czech Rep.	Main research institution: Technical University of Liberec (TUL)	generic	140	water supply tunnel	research by the TUL since 2009	Advantages: includes parts created using the TBM and parts created via blasting (comparison options). Disadvantages: limited potential for technical work and more extensive interventions in the massif.
Grimsel Test Site	Switzerland	NAGRA	generic	450	laboratory areas created from a hydroelectric power plant access tunnel	1984	Advantages: technical facilities directly underground and connected to the underground laboratory, horizontal transport to the underground areas via standard means of transport, corridors created by means of the TBM. Disadvantage: impaired availability in winter.
Äspö HRL	Sweden	SKB	generic	220, 340, 450	areas targeted from the surface	1995	Advantages: laboratory corridors at multiple depth levels, transport via an access tunnel or shafts; the continued operation of the laboratory is uncertain.
Onkalo	Finland	Posiva	site-specific	420–500	confirmation laboratory built during the excavation of the DGR complex	2004	Own research activities: not available to foreign institutions.
KURT	Korea	KAERI	generic	120	areas targeted from the surface	2006	The national RD&D programme is underway here.
Mizunami	Japan	JAEA	generic	300, 500	areas targeted from the surface	2012	The closure of the laboratory is planned.
Beishan Exploration Tunnel	China	CNNC	generic	50	areas targeted from the surface	2016	Dedicated to the testing of technology and the verification of the properties of the massif selected for the construction of a site-specific laboratory.

laboratoř. Je součástí komplexu budoucího finského HÚ, takže má zvláštní režim a externí RD&D aktivity jsou zde téměř vyloučené. Aktuálně jedinou ze známých podzemních laboratoří v krystalinických horninách v hloubce okolo 500 m s potenciálem do budoucna je Grimsel Test Site (GTS) ve Švýcarsku. SÚRAO již delší dobu podporuje některé činnosti českých výzkumníků v této laboratoři, které přinesou výsledky pro přímé použití v českém programu. Za zmínku stojí projekt LTD (Long Term Diffusion), zahrnující ve světě ojedinělý experiment prováděný s radionuklidy v horninovém prostředí, nebo experiment MaCoTe (Material Corrosion Test), ve kterém je zkoumána koroze kandidátních materiálů pro český UOS. Hlavním řešitelem podporovaným SÚRAO je u obou těchto projektů ÚJV Řež, a. s.

Všechny zásadní podzemní laboratoře v krystalinických horninách ve světě, které jsou nyní v provozu (kromě PVP Bukov), jsou shrnuty v tab. 1. Mimo již zmíněné evropské laboratoře je zde uvedeno korejské pracoviště KURT (Kaeri underground research tunnel) a Mizunami v Japonsku. Dále je zde představeno pracoviště Beishan Exploration Tunnel, které bylo vybudováno a uvedeno do provozu v roce 2016 v rámci čínského programu. Toto pracoviště se nachází v lokalitě několik kilometrů od místa, kde je v plánu výstavba zcela nové laboratoře (Beishan URL) v granitovém masivu s cílovou hloubkou 560 m (Wang et al., 2018). Zajímavostí je, že místo pro laboratoř bylo vybráno postupem, jaký je běžný při výběru lokality pro HÚ. Systematický proces s trváním více než 30 let zahrnoval vytipování lokalit, jejich následnou charakterizaci za pomoci výsledků z průzkumných prací a srovnání a výběr nejvhodnější lokality (z devíti vhodných kandidátních lokalit nacházejících se v celkem třech oblastech v severní části Číny) za pomoci souboru kritérií s důrazem na bezpečnost danou kvalitou horniny. Aktuálně má začít výstavba této laboratoře obsahující i rozsáhlý povrchový areál. Rozhodnutí, jestli v tomto místě bude umístěno HÚ, bude učiněno v budoucnosti na základě výsledků výzkumného programu v laboratoři. Úložiště, které má pojmout celkem 83 000 tun vyhořelého paliva, by mělo být připraveno k ukládání v roce 2050. Na závěr přehledu laboratoří je vhodné zmínit ruský program přípravy HÚ. Rusko připravuje projekt výstavby podzemní laboratoře a posléze HÚ v Krasnojarském kraji poblíž „uzavřeného“ města Železnogorsk (Laverov et al., 2016). Cílovou strukturou je Nižněkamskij masív a přeměněné horniny v hloubce 450 až 525 m.

located at a depth corresponding to that of the future DGR (550m), is best suited to SÚRAO's requirements.

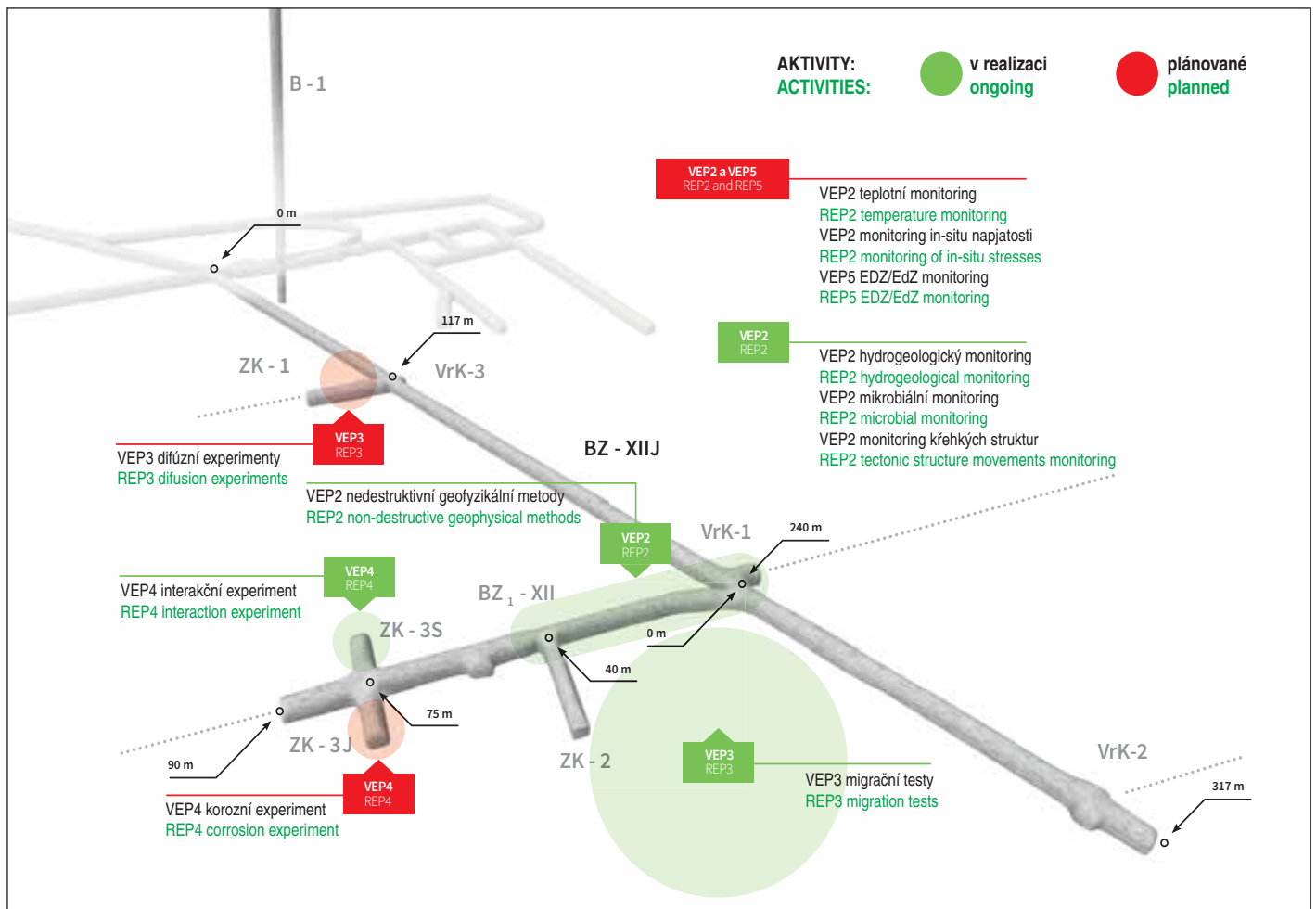
There are only a small number of underground laboratories in Europe located in crystalline rocks that are suitable for the conducting of the experiments necessary in terms of the Czech DGR programme. They include the Äspö Hard Rock Laboratory (HRL) in Sweden. This generic laboratory, located in granite rocks at a maximum depth of 450m, has an unclear future due to the transfer of research related to the construction of the Swedish DGR to the selected final site. Further, the Onkalo Underground Rock Characterisation Facility in Finland is not a generic laboratory; since it forms an integral part of the future Finnish DGR complex, external activities are not possible because of the special operational mode of the facility, i.e. it precludes the conducting of external RD&D research. Currently, the Grimsel Test Site (GTS) in Switzerland is the only underground laboratory located in crystalline rocks at a depth of around 500m with future research potential. For many years, SÚRAO has supported selected research conducted by Czech scientists at this facility, the results of which will be used in the Czech DGR development programme. Such research includes the LTD (Long Term Diffusion) project, consisting of a globally unique experiment involving the transport of radionuclides in the rock environment, and the MaCoTe (Material Corrosion Test) project that includes the investigation of the corrosion of Czech WDP candidate materials. The principal Czech research organisation involved in both these SÚRAO-supported projects is ÚJV Řež Ltd.

A summary is provided in Tab.1 of all the world's major underground laboratories that are located in crystalline rocks and which are currently in operation (with the exception of the Bukov URF). In addition to the aforementioned European laboratories, the table includes the Korean KURT facility (the Kaeri underground research tunnel), the Mizunami laboratory in Japan and the Beishan Exploration Tunnel, which was constructed and put into operation in 2016 as part of the Chinese DGR programme. This facility is located a few kilometres from the site at which the construction of a new laboratory (the Beishan URL) is planned in a granite massif with a target depth of 560m (Wang et al., 2018). In this case, it is interesting that location of the laboratory was selected via a procedure that is common with regard to the selection of DGR sites. The systematic siting process, that lasted more than 30 years, included the identification of sites, their subsequent characterisation and comparison employing the results of investigation surveys and



Obr. 2 Přístupová chodba BZ-XIIJ v PVP Bukov  
Fig. 2 The BZ-XIIJ access corridor at the Bukov URF

the final selection of the most suitable site (from nine suitable candidate sites located in three areas in northern China) applying a set of criteria that prioritised the degree of safety based on the quality of the rock. The construction of this underground laboratory and the associated extensive surface complex is due to commence in the near future. The decision as to whether a DGR will be located at this site will be made in the future based on the results of the research programme conducted at the laboratory. It is planned that the repository, which is intended to hold a total of 83,000 tonnes of spent nuclear fuel, will be ready for disposal in 2050. The list of laboratories also includes a facility that is planned as part of the Russian DGR development programme. The underground laboratory and, subsequently a DGR, will be constructed in the Krasnojarsk region near to the “closed” city of Zheleznogorsk (Laverov et al., 2016) in the Nizhnekamskiy massif containing metamorphic rocks at a depth of 450m to 525m.



Obr. 3 Prostorové schéma PVP Bukov s vyznačením probíhajících a plánovaných aktivit  
 Fig. 3 Spatial scheme of the Bukov URF indicating ongoing and planned research activities

## PVP BUKOV

Projekt generické laboratoře PVP Bukov byl založen na postupu ověřeném v minulosti u řady obdobných projektů. Záměrem je částečně využít již vytvořených nevyužívaných podzemních děl. V tomto případě byla využita stávající důlní infrastruktura uranového dolu Rožná I, který byl v době plánování a v prvních letech výstavby laboratoře v plném těžebním provozu. Laboratoř byla

## BUKOV URF

The Bukov URF project was based on a procedure that had previously been verified in a number of similar projects. The intention was to make partial use of a disused underground mine complex, i.e. the existing mining infrastructure of the Rožná I uranium mine, parts of which were still in full mining operation at the time of the planning and the first years of the construction of the facility. The

laboratory was constructed near to the B-1 shaft on level 12 of the mine at a depth of around 550m. The excavation of the underground chambers, which was performed by the GEAM subsidiary of DIAMO, commenced in 2013, and the laboratory infrastructure was completed in 2017. A number of changes were made to the originally planned layout of the laboratory during the construction phase due to the unsuitable character of some of the rock structures in the complex (Dvořáková et al., 2014). The result consisted of a total of 470m of corridors. The complex was commissioned in May 2017, at which time the experimental phase of the laboratory commenced, just two months following the end of mining activities on level 24 of the mine. The Rožná I mine was the oldest operational uranium mine in Central Europe at the time of closure; over 21,000 tonnes of uranium were mined here during its 60-year history.



Obr. 4 Příprava vrtů pro interakční experiment  
 Fig. 4 Preparation of boreholes for the interaction experiment

Tab. 2 Oblasti realizovaných a plánovaných činností v PVP Bukov

oblast programu SÚRAO	zkrácený název	cíle
VEP1	charakterizace	Vývoj metodik popisu horninového prostředí. Sběr popisných geologických dat, jejich uložení do databází a interpretace ve formě 3D modelů.
VEP2	monitoring	Testování a vývoj metod dlouhodobého monitoringu procesů probíhajících v horninovém masivu (hydrogeologie, pohyby křehkých struktur, mikrobiologické osídlení, teplota masivu, seismicita). Vývoj nedestruktivních geofyzikálních metod.
VEP3	transport	Výzkum proudění podzemních vod a transportu radionuklidů v horninovém prostředí. In-situ testy ve vrtech. Vývoj a testování modelovacích nástrojů.
VEP4	inženýrské bariéry	Vývoj a výzkum materiálů inženýrských bariér. Výzkum korozních vlastností materiálů pro UOS. Výzkum interakcí mezi materiály inženýrských bariér (bentonit, beton) a horninou.
VEP5	EDZ	Vývoj a testování metod pro charakterizaci porušené (EDZ) a ovlivněné (EdZ) oblasti hornin v okolí podzemních prostor.
VEP6	technologické postupy	Vývoj nových konstrukčních postupů výstavby podzemních děl (vrtné a razičí práce, injektáže, zajištění výrubu při prostupu přes poruchové zóny).
VEP7	demonstrační experimenty	Komplexní experimenty testující chování prvků ukládacího systému v reálném měřítku a v podmínkách v HÚ. Testování technologií pro manipulaci, konstrukce experimentálních modelů a monitoring procesů.

vystavěna poblíž jámy B-1 na 12. patře dolu v hloubce okolo 550 m. Ražba podzemních prostor realizovaná společností DIAMO s. p., o. z. GEAM, byla zahájena v roce 2013 a infrastruktura laboratoře byla kompletně dokončena v roce 2017. V průběhu výstavby došlo z důvodu zastižení nevhodných horninových struktur ke změnám oproti původně plánovanému uspořádání prostor laboratoře (Dvořáková et al., 2014). Výsledkem je celkem 470 m chodeb. Dílo bylo předáno k užívání v květnu 2017, kdy byla zahájena experimentální fáze laboratoře, dva měsíce po ukončení těžebních činností na 24. patře dolu. Důl Rožná I byl nejstarším provozovaným uranovým

In terms of geological structure, the laboratory is located in a volcano-sedimentary complex consisting of metamorphic rocks, mostly migmatites and amphibolites. Due to the careful selection of the location of the facility, the laboratory corridors are not traversed by any structures that contain uranium minerals and the monitored ionising radiation activity is practically zero. However, since the laboratory forms part of a mine complex with a unified infrastructure, it makes up part of the Rožná I controlled area, and researchers must be registered as category A radiation workers. The laboratory consists of a 300m long access gallery (Fig. 2),

Tab. 3 Příklady aktivit v českých podzemních laboratořích

cíle aktivit v laboratořích podle NEA-OECD (2013)	odpovídající příklady z PVP Bukov příp. dalších českých laboratořích
Vývoj metod, zařízení a získání zkušeností s charakterizací a monitorováním horninového masivu.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Výzkumný program v tunelu Bedřichov.</li> <li>• Projekt Charakterizace (Bukovská et al., 2017; Souček et al., 2018) (oblast VEP1).</li> <li>• Oblast VEP2: vývoj geofyzikálních metod, hydrogeologický, mikrobiologický monitoring, monitoring pohybů křehkých struktur*.</li> </ul>
Testování spolehlivosti povrchových průzkumných metod pro charakterizaci horninového masivu ve větších hloubkách.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projekt Hluboké horizonty (VEP1 a VEP2)*: propojování výsledků mapování na povrchu a na dalších patrech dolu Rožná I a tvorba 3D modelu.</li> </ul>
Získání dat pro technický návrh úložiště a hodnocení proveditelnosti.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Připravovaný projekt teplotního monitoringu (VEP2): získání informací o geotermálním gradientu v krystaliniku (vstup pro teplotní výpočty pro projektové řešení HÚ).</li> <li>• Projekt výstavby a charakterizace PVP Bukov (Augusta et al., 2018).</li> </ul>
Testování a vývoj koncepčních a numerických modelů popisujících procesy relevantní pro transport radionuklidů.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projekt: Transport radionuklidů z HÚ – Testování koncepčních a výpočetních modelů: využití dat z PVP Bukov pro tvorbu puklinové sítě v modelech.</li> <li>• Projekt: Výzkum puklinové konektivity v PVP Bukov: kompletní program (charakterizace – tvorba modelu – hydraulické testy ve vrtech a stopovací testy – simulace testů).</li> <li>• Plánované difuzní testy v rámci VEP3.</li> </ul>
Kvantifikace důsledků ražby na horninový masiv.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projekt: Vznik a monitoring EDZ při výstavbě PVP Bukov (*).</li> <li>• Další projekt v rámci VEP5 v přípravě.</li> </ul>
Vývoj a testování metod ražby podzemních prostor.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projekt výstavby a charakterizace PVP Bukov (Augusta et al., 2018): testování a vývoj metody hladkého výlomu. Možnost srovnání konvenční ražby a hladkého výlomu.</li> <li>• Program VEP6.</li> </ul>
Simulace efektů vyvolaných odpadem (zvýšená teplota, radiace, únik radionuklidů, mechanické vlivy, produkce plynu).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interakční experiment v PVP Bukov*: zahřívání fyzikální modely s kandidátními materiály pro inženýrské bariéry HÚ (obr. 4).</li> <li>• In-situ fyzikální modely v podzemní laboratoři Josef: MOCK-Up Josef, Hot MOCK-UP Josef (TAČR, 2019).</li> </ul>
Studie materiálových interakcí v úložišti.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interakční experiment*.</li> <li>• Plánované aktivity VEP4, např. plánovaný in-situ korozní experiment.</li> </ul>
Demonstrace systému inženýrských bariér.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plánované aktivity VEP7.</li> <li>• Projekty v podzemní Laboratoři Josef: MOCK-UP Josef, HOT MOCK-UP Josef (TAČR, 2019), EPŠP DOPAS</li> <li>• Zkušenosti s instalací inženýrských bariér a jejich monitoringem.</li> </ul>
Demonstrace ukládacích technik.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plánované aktivity VEP7.</li> </ul>
Demonstrace neinvazivních monitorovacích technik.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projekty v PVP Bukov: Vývoj neinvazivních geofyzikálních metod*.</li> </ul>

\* Více informací k tomuto projektu je možné najít v dokumentu SÚRAO (2019).

Tab. 2 Completed and planned research at the Bukov URF

SÚRAO programme area	short designation	aims
REP1	characterisation	Development of rock environment description methodologies. Collection of descriptive geological data, its storage in databases and interpretation in the form of 3D models.
REP2	monitoring	Testing and development of methods for the long-term monitoring of processes that occur in the rock mass (hydrogeology, movements of brittle structures, microbiological settlement, temperature, seismicity). Development of non-destructive geophysical methods.
REP3	transport	Research of groundwater flow and the transport of radionuclides in rock environments. In-situ borehole testing. Development and testing of modelling tools.
REP4	engineered barriers	Research and development of engineered barrier materials. Research of the corrosion properties of WDP materials. Research of interactions between the engineered barrier materials (bentonite, concrete) and the rock.
REP5	EDZ	Development and testing of methods for the characterisation of damaged (EDZ) and disturbed (EdZ) zones in the rock surrounding the underground spaces.
REP6	technological procedures	Development of new construction methods for the construction of underground structures (drilling and excavation work, grouting, securing excavation when traversing fault zones).
REP7	demonstration experiments	Complex experiments aimed at testing the behaviour of various elements of the disposal system at the real scale and under authentic DGR conditions. Testing of handling technologies, construction of experimental models and process monitoring.

dolem ve střední Evropě a za více než šedesátiletou dobu provozu se zde vytěžilo okolo 21 000 tun uranu.

Z hlediska geologické stavby se laboratoř nachází ve vulkanosedimentárním komplexu tvořeným metamorfovanými horninami, převážně migmatity a amfibolity. Vzhledem ke zvolené pozici laboratoře nejsou laboratorní chodby kříženy žádnými strukturami s uranovými minerály a monitorovaná aktivita ionizujícího záření je zde téměř nulová. Nicméně protože je laboratoř součástí dolu s jednotnou infrastrukturou, je součástí kontrolovaného pásma a výzkumníci musí být registrováni jako radiační pracovníci kategorie A.

which was created employing the conventional excavation method, and shorter workings that were excavated using the smooth blasting method (Augusta et al., 2018). Large parts of the access gallery were provided with TH arches with reinforced ceilings and sides; in some places rock bolts in combination with expanded metal mesh were used to stabilise the rock. While the laboratory corridors were not fitted with arch reinforcement, fiberglass rock bolts were fitted in places with unfavourable fracture system directions.

Even though mining work ended in 2017, the operation of the mine continues as it did during the uranium extraction phase, i.e.

Tab. 3 Examples of the research conducted at Czech underground laboratories

aims of the laboratory research activities according to NEA-OECD (2013)	corresponding examples from the Bukov URF and other Czech laboratories
Development of methods and equipment concerning, and obtaining experience with, the characterisation and monitoring of rock masses.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bedřichov Tunnel Research Programme.</li> <li>• The Characterisation project (Bukovská et al., 2017; Souček et al., 2018) (area REP1).</li> <li>• Area REP2: development of geophysical methods; hydrogeological, microbiological monitoring, the monitoring of brittle structure movements*.</li> </ul>
Testing of the reliability of surface investigation methods for the characterisation of the rock mass at greater depths.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The Deep Horizons project (REP1 and REP2)*: merging of the results of the mapping of the surface and other levels of the Rožná I mine and the creation of a 3D model.</li> </ul>
Acquisition of data for the technical design of the repository and the assessment of feasibility.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forthcoming temperature monitoring project (REP2): acquisition of information on the geothermal gradient of crystalline rocks (input for the temperature calculations required for the projected DGR design).</li> <li>• Construction and characterisation of the Bukov URF project (Augusta et al., 2018).</li> </ul>
Development and testing of conceptual and numerical models that describe the processes relevant for radionuclide transport.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Project: The transport of radionuclides from the DGR – the testing of conceptual and computational models: the use of data from the Bukov URF for the creation of fracture networks in the models.</li> <li>• Project: The research of fracture connectivity at the Bukov URF: complete programme (characterisation – the creation of models – hydraulic tests in boreholes and tracer tests – test simulations).</li> <li>• Planned diffusion tests as part of REP3.</li> </ul>
Quantification of the impacts of excavation on the rock mass.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Project: The creation and monitoring of EDZs during the construction of the Bukov URF (*).</li> <li>• A further project as part of REP5; under preparation.</li> </ul>
Development and testing of underground excavation methods.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construction and Characterisation of the Bukov URF project (Augusta et al., 2018): testing and development of the smooth blasting method. Option for the comparison of conventional and smooth excavation.</li> <li>• REP6 programme.</li> </ul>
Simulation of waste-induced effects (elevated temperatures, radiation, the escape of radionuclides, mechanical effects, the production of gases).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interaction Experiment at the Bukov URF*: heated physical models with DGR engineered barrier candidate materials (Fig. 4).</li> <li>• In-situ physical models at the Josef underground laboratory: MOCK-UP Josef, Hot MOCK-UP Josef (TAČR, 2019).</li> </ul>
Study of material interactions in repositories.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interaction Experiment*.</li> <li>• Activities planned in REP4, e.g. a planned in-situ corrosion experiment.</li> </ul>
Demonstration of the engineered barrier system.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Activities planned in REP7.</li> <li>• Projects at the Josef underground laboratory: MOCK-UP Josef, Hot MOCK-UP Josef (TAČR, 2019), EPSP DOPAS – Experience with the installation of engineered barriers and their monitoring.</li> </ul>
Demonstration of disposal techniques.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Activities planned in REP7.</li> </ul>
Demonstration of non-invasive monitoring techniques.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projects at the Bukov URF: Development of non-invasive geophysical methods*.</li> </ul>

\* Further information on this project is available in a brochure available on SÚRAO's website (2019).

Laboratoř se skládá z 300 m dlouhého přístupového překopu (obr. 2), který byl vytvořen konvenčním způsobem ražby, a kratších děl, která byla ražena metodou hladkého výlomu (Augusta et al., 2018). Přístupový překop je ve velké části opatřen TH obloukovou výztuží se zapažením stropů a boků, případně byla pro stabilizaci stěn použita svorníková výztuž v kombinaci s tahokovem či pletivem. Laboratorní chodby jsou bez obloukové výztuže a v místech s nepříhodnými směry puklinových systémů byly použity sklolaminátové svorníky.

I po ukončení aktivních těžebních činností pokračuje provoz dolu v původním zavedeném režimu. Znamená to, že je udržován přístup i do spodních pater dolu pod úroveň PVP Bukov, a to až na 24. patro do hloubky 1200 m. Přístup do těchto pater je využíván v rámci některých projektů a jsou tak získávána unikátní data (například projekt nazývaný „Hluboké horizonty“; SÚRAO, 2019).

## RD&D AKTIVITY

Aktivity v podzemí zohledňují výzkumné potřeby SÚRAO a možnosti místního horninového prostředí. Vědecký program byl zahájen již v průběhu ražby podzemních prostor. V roce 2017 skončil rozsáhlý projekt, který měl za cíl zmapování a charakterizaci horninového masivu (Bukovská et al., 2017; Souček et al., 2018). Výsledkem práce je ucelený soubor dat s informacemi o prostorové distribuci parametrů hornin (Bukovská et al., 2019), který je využíván v dalších projektech. V laboratorních chodbách vznikla série měřicích stanic pro monitorování změn v horninovém masivu, nebo hydrogeologická monitorovací síť pro sledování vývoje přítoků podzemní vody.

Činnosti spojené s projektem českého HÚ lze rozdělit do celkem sedmi oblastí, v dokumentech SÚRAO označovaných jako VEP (Výzkumný a experimentální plán). Stručný popis cílů těchto oblastí je v tab. 2. Prozatím byly dokončeny celkem tři výzkumné projekty, sedm projektů podporovaných SÚRAO je v realizaci a další jsou ve fázi přípravy. Podrobnější informace o dokončených a probíhajících činnostech je možné nalézt v dokumentu na webových stránkách SÚRAO (SÚRAO, 2019). Z obr. 3 je patrné prostorové využití laboratoře pro probíhající a plánované aktivity. Velká většina činností v rámci prvních projektů je spojena s charakterizací a výzkumem lokálních vlastností horninového masivu, které jsou nezbytné pro navazující komplexnější projekty. V rámci průzkumných prací, a pro potřeby konkrétních experimentů, již bylo vytvořeno více než 1500 m jádrových vrtů o průměru 76 mm v různých částech dolu. Vrtaná jádra jsou uložena ve skladu hmotné dokumentace SÚRAO a představují unikátní zdroj materiálu pro další studium.

Pro zhodnocení využitelnosti a přínosů laboratoře bylo využito tabulky z dokumentu NEA-OECD (2013). V tomto dokumentu jsou k definovaným obecným cílům uvedeny konkrétní příklady projektů ze světových laboratoří. Stejně členění bylo využito pro vytvoření přehledu aktivit v PVP Bukov, případně v podzemní laboratoři Josef a Bedřichov (tab. 3).

## BUDOUCNOST PRACOVISŤE

Z porovnání charakteristik provozovaných světových laboratoří v krystalinických horninách je patrná unikátnost PVP Bukov. Samotná výstavba a přidružená charakterizace masivu v průběhu výstavby poskytla SÚRAO velmi důležitá data a zkušenosti. Možnosti získávat data z krystalinických masivů z hloubky odpovídající HÚ v budoucnosti jsou velice omezené. V případě uzavření Äspö HRL je jedinou laboratoří s potenciálem do budoucna Grimsel Test Site, která je ale vzhledem k širokému spektru nutných činností pro české HÚ zcela nedostatečná. V činnostech je nutné

access to the lower floors of the mine below the Bukov URF level has been maintained down to level 24, at a depth of 1200m. The lower levels have been used for the conducting of a number of projects that have yielded particularly useful and unique data (for example, the “Deep Horizons” project; SÚRAO, 2019).

## RD&D ACTIVITIES

The underground research takes into account both SÚRAO's research requirements and the potential of the local rock environment. The scientific programme commenced as early as during the excavation of the underground complex, and 2017 saw the completion of an extensive project involving the mapping and characterisation of the rock mass (Bukovská et al., 2017; Souček et al., 2018), the result of which was a comprehensive set of data on the spatial distribution of the rock parameters (Bukovská et al., 2019) which was used in a number of subsequent projects. A series of measuring stations was created in the laboratory corridors to monitor changes in the rock mass and a hydrogeological monitoring network was installed for the monitoring of the development of groundwater inflows.

The research related to the Czech DGR development project can be divided into a total of seven areas, referred to in SÚRAO documents as REPs (Research and Experimental Plans). A brief description of the objectives of these research areas is provided in Tab. 2. To date, a total of three research projects have been completed, seven projects supported by SÚRAO are currently underway and others are in the preparation phase. More detailed information on completed and ongoing research is available on SÚRAO's website (SÚRAO, 2019). Fig. 3 illustrates the spatial use of the laboratory for ongoing and planned research. Most of the research in the initial projects concerned the characterisation and research of the local properties of the rock mass, which is essential for the subsequent conducting of more complex projects. More than 1500m of drill cores with diameters of 76mm have already been extracted from various parts of the mine as part of the exploration research phase and for the requirements of specific experiments. The drill cores are stored in SÚRAO's materials archive and represent a unique source of materials for further study.

Tables contained in NEA-OECD documentation (2013), that provides specific examples of projects conducted at laboratories worldwide in relation to defined general objectives, were used to assess the usability and potential benefits of the laboratory. The same classification system was subsequently employed to compile an overview of research at the Bukov URF and the Josef and Bedřichov underground laboratories (Tab. 3).

## FUTURE OF THE FACILITY

A comparison of the characteristics of laboratories in crystalline rocks worldwide highlights the unique character of the Bukov URF. The construction itself and the associated characterisation of the rock mass during the construction phase provided SÚRAO with highly important data and experience. The options available for obtaining data from crystalline masses from depths corresponding to those of the future DGR are very limited. Should the Äspö HRL be closed, the Grimsel Test Site will be the only other suitable laboratory available. However, in view of the wide range of research required, the Grimsel facility will not be able to provide for all the needs of the Czech DGR development programme. Thus, research must continue at the Bukov URF up to the commissioning of a confirmatory laboratory at the finally selected DGR site.

One of the complications that may affect the continuation of the operation of the Bukov URF consists of the fact that since the end



pokračovat až do výstavby konfirmační laboratoře ve finální lokalitě pro HÚ.

Komplikací, která může ovlivnit pokračování provozu PVP Bukov, je skutečnost, že od ukončení těžby uranu v březnu 2017 jsou veškeré náklady na provoz dolu hrazeny ze zdrojů SÚRAO. Nejnákladnější položkou je energie potřebná pro nucené větrání podzemních prostor a čerpání vody. Dále je nutné udržovat v bezpečném provozu rozsáhlé podzemní prostory vytvořené před desítkami let, což vyžaduje časté rekonstrukční práce. Z těchto důvodů byly zpracovány externí studie zhodnocující, jestli se vyplatí pokračovat ve stávajícím nákladném režimu provozování celého prostoru, nebo provést jednorázové investice do vybudování nové infrastruktury v omezeném prostoru s vidinou úspor v budoucnosti. Výsledkem studií je návrh na zmenšení provozovaného prostoru dolu uzavřením některých jam a zaplavením spodních pater dolu.

Připravuje se také II. etapa experimentální fáze PVP Bukov, zahrnující ražbu nových podzemních chodeb pro další experimenty. Potenciálně vhodnou oblastí je horninový blok poblíž jámy B-2 na 12. patře dolu. Kromě vhodných geologických podmínek, potvrzených při vrtné kampani dokončené v roce 2018, je výhodou tohoto místa přítomnost jámy B-2, která díky svému velkému profilu může být použita pro transport rozměrných nákladů do podzemí. Toho by mohlo být využito pro budoucí demonstrační experimenty. Zároveň je také v přípravě projekt výstavby administrativního zázemí v povrchovém areálu jámy B-1, která vede přímo k prostorům laboratoře.

**Ing. JAN SMUTEK, Ph.D., smutek@suraao.cz,  
RNDr. LUKÁŠ VONDROVIC, Ph.D., vondrovic@suraao.cz,  
Ing. JAROMÍR AUGUSTA, Ph.D. augusta@suraao.cz,  
SÚRAO**

**Recenzoval Reviewed: Ing. Kamil Souček, Ph.D.**

of uranium mining in March 2017, all the costs of the operation of the mine have had to be covered by SÚRAO's financial resources. The costliest item relates to the energy required for the forced ventilation of the underground complex and the pumping of water. Furthermore, it is necessary to maintain large underground areas that were created several decades ago in safe operation, which requires frequent reconstruction work. Hence, external studies have been conducted aimed at assessing whether it is worthwhile to continue the current costly operation of the whole complex or whether it would be better to invest in the construction of a new infrastructure with limited dimensions with the prospect of substantial financial savings over the long term. The studies proposed the reduction of the operational area of the mine via the closure of a number of mine workings and the flooding of the lower levels of the mine.

The second stage of the experimental phase of the Bukov URF, including the excavation of new underground corridors for the conducting of further experiments, is currently under preparation, concerning which a potentially suitable rock block has been identified near the B-2 shaft on level 12 of the mine. In addition to the suitable geological conditions confirmed by means of a drilling campaign completed in 2018, one of the advantages of this site is its proximity to the B-2 shaft which, due to its large profile, can be used for the transport of large loads to the underground complex. It is anticipated that the new area will be used for the conducting of demonstration experiments. In addition, a project concerning the construction of an administrative facility on the surface above the B-1 working, which leads directly to the laboratory complex, is in the preparation stage.

**Ing. JAN SMUTEK, Ph.D., smutek@suraao.cz,  
RNDr. LUKÁŠ VONDROVIC, Ph.D., vondrovic@suraao.cz,  
Ing. JAROMÍR AUGUSTA, Ph.D., augusta@suraao.cz,  
SÚRAO**

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] AUGUSTA, Jaromír, Jiří SLOVÁK, Jan SMUTEK, Lukáš VONDROVIC, Petr KŘÍŽ a Pavol MAGYAR. Výstavba a charakterizace Podzemního výzkumného pracoviště Bukov. In: *Tunely a podzemní stavby 2018*, 23.–25. 5. 2018 Žilina [online]. s. 11 [cit. 2019-01-18]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/325443480\\_Vystavba\\_a\\_charakterizace\\_Podzemního\\_vyzkumneho\\_pracoviste\\_Bukov](https://www.researchgate.net/publication/325443480_Vystavba_a_charakterizace_Podzemního_vyzkumneho_pracoviste_Bukov)
- [2] BUKOVSKÁ, Zita, Igor SOEJONO, Lukáš VONDROVIC, et al. Characterization and 3D visualization of underground research facility for deep geological repository experiments. *Engineering Geology*. 2019, 259. DOI: 10.1016/j.enggeo.2019.105186. ISSN 00137952. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S001379521831723X>
- [3] BUKOVSKÁ, Zita, Kryštof VERNER, et al. *Komplexní geologická charakterizace prostorů PVP Bukov*: Technická zpráva SÚRAO č. 191/2017. 2017, 351 s. Dostupné z: <https://www.suraao.cz/dokument-kategorie/geologickastavba/>
- [4] DVOŘÁKOVÁ, Markéta, Marek VENCL a Petr KŘÍŽ. Budování Podzemního výzkumného pracoviště Bukov. *Tunel*. 2014, 23(2), 18–22. Dostupné také z: [https://www.ita-aites.cz/files/tunel/2014/2/tunel\\_2\\_14-06.pdf](https://www.ita-aites.cz/files/tunel/2014/2/tunel_2_14-06.pdf)
- [5] LAVEROV, Nikolai P., Sergey V. YUDINTSEV, Boris T. KOCHKIN a Victor I. MALKOVSKY. The Russian Strategy of using Crystalline Rock as a Repository for Nuclear Waste. *Elements*. 2016, 12(4), 253–256. DOI: 10.2113/gselements.12.4.253. ISSN 1811-5209. Dostupné také z: <https://pubs.geoscienceworld.org/elements/article/12/4/253-256/238969>
- [6] NEA-OECD, 2013. *Underground Research Laboratories (URL)*. Dostupné z: <https://www.oecd-nea.org/rwm/reports/2013/78122-rwm-url-brochure.pdf>
- [7] SOUČEK, Kamil, et al. *Komplexní geologická charakterizace prostorů PVP Bukov – Část II Geotechnická charakterizace: Technická zpráva SÚRAO č. 221/2018*. 2018. Dostupné z: <https://www.suraao.cz/dokument-kategorie/geologickastavba/>
- [8] SÚRAO. *Podzemní výzkumné pracoviště Bukov – Experimentální program 2015–2019*. 2019. Dostupné z: [https://www.suraao.cz/wp-content/uploads/2019/09/suraao\\_brozura\\_bukov\\_online.pdf](https://www.suraao.cz/wp-content/uploads/2019/09/suraao_brozura_bukov_online.pdf)
- [9] TAČR. *Inženýrská bariéra 200C* [online]. 2019 [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: <https://starfos.tacr.cz/cs/project/TK01030031>
- [10] WANG, Ju, Liang CHEN, Rui SU a Xingguang ZHAO. The Beishan underground research laboratory for geological disposal of high-level radioactive waste in China: Planning, site selection, site characterization and in situ tests. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2018, 10(3), 411–435. DOI: 10.1016/j.jrmge.2018.03.002. ISSN 16747755. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1674775518300246>

# BETON SE SNÍŽENÝM PH PRO HLUBINNÉ ÚLOŽIŠTĚ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ

## LOW PH CONCRETE IN THE DEEP GEOLOGICAL REPOSITORY FOR RADIOACTIVE WASTE

LUCIE HAUSMANNOVÁ, MARKÉTA DOHNÁLKOVÁ, DAVID ČÍTEK, JIŘÍ KOLÍSKO

### ABSTRAKT

*Beton se sníženým pH byl speciálně vyvinut pro použití v podmínkách plánovaného hlubinného úložiště. Beton by měl v úložišti sloužit převážně jako konstrukční nebo injektážní materiál, který nebude z hlediska dlouhodobé bezpečnosti negativně ovlivňovat materiály inženýrských bariér. Z těchto důvodů jsou na směs kladeny následující požadavky: pH nižší než 11,2, obsah organických látek menší než 2 % a pevnost srovnatelná s běžnými betony. Na základě rešerše zaměřené na vývoj betonu se sníženým pH bylo zřejmé, že je nutné nahradit přibližně 50 % cementu jinými aktivními přísadami. Pro další práce byla vybrána tříložková pojivová směs cement–struska–mikrosilika doplněná o běžné kamenivo. Pro lepší zpracovatelnost a mechanické vlastnosti musel být do betonové směsi přidán superplastifikátor a odpěňovač. Tato směs byla vyrobena v objemu 1 m<sup>3</sup> na běžné betonárce a otestována jak v čerstvém stavu, tak na vytvrdlých vzorcích. Beton splňoval všechny zmiňované požadavky. Dále byla směs odzkoušena při aplikaci nástřikem v podzemní laboratoři Bukov. Z technologických důvodů bylo ve směsi nahrazeno hrubé kamenivo pískem a nebyl použit ani plastifikátor, ani odpěňovač. Aplikace proběhla úspěšně, směs je přílnavá a dostatečně homogenní. Vývoj směsi byl realizován Kloknerovým ústavem ČVUT v Praze.*

### ABSTRACT

*A low pH concrete was specially developed for use under the conditions expected in the planned deep geological repository. The concrete in the repository will serve principally as a construction and injection material that will be required not to adversely affect the engineered barrier materials in terms of long-term safety, and concerning which the following requirements have been set concerning the mixture: a pH value of less than 11.2, an organic matter content of less than 2% and strength comparable to that of conventional concrete. Since previous studies on the development of low pH concretes indicated that approximately 50% of the cement would have to be replaced by other active ingredients, the research considered a triple-component cement-slag-microsilica binding mixture supplemented with common aggregates. Moreover, a superplasticiser and a defoaming agent were added to the concrete mixture so as to enhance its workability and mechanical properties. The mixture was produced in a volume of 1m<sup>3</sup> at a conventional concrete mixing plant and tested in both the fresh and hardened states. The concrete fulfilled all the essential requirements. The mixture was subsequently tested for spray application purposes at the Bukov Underground Research Facility, concerning which, for technical reasons, the coarse aggregate in the mixture was replaced with sand and both the plasticiser and the defoamer were omitted from the mixture. The spray application test proved successful – the mixture was found to be both adhesive and sufficiently homogeneous. The concrete mixture was developed by the Klokner Institute of the Czech Technical University in Prague.*

### ÚVOD DO PROBLEMATIKY

V České republice je koncept hlubinného úložiště (HÚ) založen na ukládání vysoce radioaktivního odpadu v krystalinických horninách, stejně jako například ve Finsku a Švédsku. Krystalinické horniny jsou typické přítomností puklin, které mohou v budoucnu sloužit jako preferenční cesta pro radionuklidy. Proto je tato přírodní bariéra doplněna o systém inženýrských bariér, složený z ukládacího obalového souboru a bentonitových bariér, jejichž hlavní funkcí je ochránit kontejner a zpomalit případnou migraci radionuklidů.

Český koncept hlubinného úložiště radioaktivního odpadu je stále ve fázi vývoje. Jedním z úkolů je navržení takových materiálů, které budou dlouhodobě stabilní a jejich vlastnosti dlouhodobě predikovatelné. Zároveň nesmí být materiály inženýrských bariér negativně ovlivněny konstrukčními materiály, jako je například beton.

Typickou vlastností běžného konstrukčního betonu je vysoké pH (12,5–13), které může negativně ovlivnit vlastnosti bentonitu. Příkladem negativního ovlivnění je možné snížení bobtnací schopnosti bentonitu, a tím i jeho těsnicí funkce. Z tohoto důvodu bylo nutné zabývat se výzkumem a vývojem betonové směsi, která bude mít snížené pH ( $\leq 11,2$ ), a tudíž vlastnosti a funkci bentonitové bariéry neovlivní. Tyto teoretické předpoklady je nutné experimentálně

### INTRODUCTION

The Czech deep geological repository (DGR) concept is based on the disposal of highly-radioactive waste in a crystalline rock environment as in, for example, Finland and Sweden. Crystalline rocks are characterised by the presence of fractures that may, in the future, play the role of preferential pathways for the transport of radionuclides. Thus, the natural barrier provided by the rock is complemented by a system of engineered barriers consisting of the waste disposal package and a layer of bentonite, the main function of which is to protect the waste package and retard the potential migration of radionuclides.

The Czech deep geological repository for radioactive waste concept, which is still in the development stage, considers the design of materials that are stable over the long term and whose properties can be reasonably predicted over thousands of years. At the same time, it is important that the materials that make up the engineered barriers are not adversely affected by the construction materials used in the DGR, such as concrete.

One of the typical characteristics of conventional structural concrete consists of its high pH value (12.5–13), which is able to negatively affect the properties of bentonite, an example of which concerns a potential reduction in the swelling ability of the material and, consequently, its sealing function. Hence, it is necessary to

ověřit, a to nejprve v laboratorních podmínkách. Když se materiál v laboratorních testech osvědčí i v kombinaci s bentonitem, je nutné toto chování ověřit i v dlouhodobých in-situ experimentech v horninovém prostředí. Z tohoto důvodu bylo nutné beton vyvinout v předstihu, ač stavba samotného HÚ je plánována za desítky let.

## POŽADAVKY NA VÝVOJ BETONOVÉ SMĚSI PRO POUŽITÍ V HÚ

Betonové směsi budou v hlubinném úložišti použity především jako konstrukční materiály pro zajištění výrubů (ostění), jako injektážní směsi pro výplň puklin, nebo pro konstrukci těsnících zátek. Z tohoto důvodu byla jedním z hlavních požadavků jejich srovnatelná mechanická odolnost s běžným betonem s cementem třídy 42,5 (CEM 42,5).

Z hlediska dlouhodobé bezpečnosti a vzájemné interakce materiálů v úložišti byla maximální hodnota pH měřená po 90 dnech stanovena na pH 11,2 a obsah organických přísad max. 2 %. Tyto hraniční hodnoty byly stanoveny na základě rozsáhlé rešeršní studie evropského projektu CEBAMA (Vehmas and Holt, 2016). Zároveň bylo podmínkou vývoje směsi využití především lokálních surovin, surovin dostupných v České republice.

## VÝVOJ SMĚSI

Vývoj směsi byl realizován Kloknerovým ústavem ČVUT v Praze. Na základě poznatků z literatury (Pernicova et al., 2018) bylo zřejmé, že je nutné nahradit přibližně 50 % cementu jinými aktivními přísadami, a tím zvýšit obsah  $\text{SiO}_2$  ve směsi. Konkrétně se jedná o strusku, metakaolin, popílek či mikrosiliku (El Bitouri et al., 2016). Pro další práce byla vybrána tří složková směs (cement–struska–mikrosilika). Důležitou vlastností betonové směsi je její zpracovatelnost. Aby směs byla dobře zpracovatelná, je nutné do ní přidat plastifikační či superplastifikační přísady. Podíl těchto složek nesmí být příliš vysoký, kvůli jejich reakci s prostředím, většinou se pohybuje v rozmezí 1 až 2 hmotnostních procent z pojiva (Cau Dit Coumes, 2008).

Při vývoji směsi se nejdříve začalo s návrhem a testováním malt (kamenivo maximální frakce 4 mm), kde se kladl hlavní důraz na hodnotu pH. Následný vývoj betonů pak vycházel ze dvou směsí, jejichž složení je uvedeno v tab. 1.

Dalším krokem bylo přidání hrubé frakce kameniva, tj. velikost zrna 8–16 mm, s tím bylo spojeno i navýšení poměru plastifikátoru z 1,5 na 2 hmotnostní procenta z celkové hmotnosti pojiva. Stále se jednalo o 2 hmotnostní procenta tekutého superplastifikátoru, obsah sušiny je u těchto přísad cca 30–40 %. Vzhledem k požadavku na lokální použití surovin byl CEM II 52,5 R nahrazen CEM I 42,5 R. V následujícím kroku musela být receptura

research and subsequently develop a concrete mixture with a low pH value ( $\leq 11.2$ ) which will not affect the various properties and functions of the bentonite barrier. The first step consists of verifying the theoretical assumptions experimentally under laboratory conditions. Once the laboratory tests prove that the material does not adversely affect the properties of bentonite, its favourable behaviour must be verified via the conducting of long-term in-situ experiments in a suitable rock environment. Hence, despite the fact that the construction of the Czech DGR is not anticipated for several decades, it is necessary to develop and test the concrete mixture well in advance of its potential application.

## REQUIREMENTS FOR THE DEVELOPMENT OF A CONCRETE MIXTURE FOR USE IN THE DGR

Concrete mixtures will be used in the deep geological repository principally as construction materials for reinforcing the various structural elements (linings), grouting mixtures for the filling of fractures and for the construction of sealing plugs. Hence, one of the principal requirements of the concrete mixture is that it must exhibit a mechanical resistance that is comparable to that of conventional concrete containing class 42.5 cement (CEM 42.5).

In view of the long-term safety and mutual interaction of materials within the repository, the maximum pH value measured after 90 days was set at 11.2 with an organic additive content of a maximum of 2%. These limit values were established based on the results of the extensive research conducted as part of the European CEBAMA project (Vehmas and Holt, 2016). At the same time, the design of the mixture assumed the use of local raw materials, i.e. raw materials available in the Czech Republic.

## DEVELOPMENT OF THE MIXTURE

The mixture was developed by the Klokner Institute of the Czech Technical University in Prague. It was clear from the literature (Pernicova et al., 2018) that it would be necessary to replace approximately 50% of the cement with other active ingredients, thereby increasing the  $\text{SiO}_2$  content of the mixture. Specifically, this involved the use of slag, metakaolin, fly ash and microsilica (El Bitouri et al., 2016). A mixture containing three components (cement-slag-microsilica) was finally selected for further study. Since workability was considered one of the most important properties of the concrete mixture, it was subsequently decided to add plasticising or super-plasticising agents. Due to their potential reaction with the surrounding environment, the proportion of these agents was limited to between 1% and 2% of the weight of the binding material (Cau Dit Coumes, 2008).

The design and testing of mortars (maximum fraction of the aggregates 4mm) commenced during the development of the concrete mixture, again with the main emphasis on the pH level. The

Tab. 1 Složení finálních malt

Tab. 1 Final composition of the mortars

surovina [kg] material [kg]	písek 0–4 sand 0–4	CEM II 52,5 R CEM II 52.5 R	mikrosilika microsilica	struska slag	voda water	plastifikátor plasticiser
malta 1 mortar 1	1850 1850	160 160	204 204	36 36	200 200	6 6
malta 2 mortar 2	1850 1850	160 160	180 180	60 60	200 200	6 6

Tab. 2 Složení finální betonové směsi (BF) se sníženým pH

Tab. 2 Composition of the final low pH concrete mixture

surovina [kg] material [kg]	kamenivo aggregates	CEM I 42,5 R CEM I 42.5 R	mikrosilika microsilica	struska slag	voda water	plastifikátor plasticiser	odpěňovač defoamer
beton se sníženým pH low pH concrete	1712 1712	140 140	179 179	32 32	200 200	6 6	1,75 1.75



Obr. 1 Zkouška sednutí kužele finální směsi  
Fig. 1 Cone slump test of the final mixture



Obr. 2 Příprava tělesa pro měření tepla během hydratace  
Fig. 2 Preparation of a sample for temperature measurement during hydration



Obr. 3 Příprava zkušebních těles  
Fig. 3 Preparation of the test samples

upravena z hlediska zpracovatelnosti čerstvé směsi. Po této modifikaci vykazovala čerstvá směs větší množství vzduchu, proto musel být do směsi ještě přidán odpeňovač. Vyšší obsah vzduchu znamená snížení objemové hmotnosti betonu, a tím i snížení výsledných mechanických vlastností. Výsledkem postupné optimalizace je betonová směs, jejíž složení je prezentováno v tab. 2 a základní vlastnosti v tab. 3.

### TEST VELKOOBJEMOVÉ VÝROBY

Výroba finální směsi byla odzkoušena v TBG Metrostav s.r.o., kde bylo vyrobeno 1 m<sup>3</sup> této finální směsi (obr. 1, 2). Vlastnosti čerstvé směsi jsou shrnuty v tab. 4. V rámci výroby bylo odlito velké množství vzorků – krychlí o rozměrech 150×150×150 mm (obr. 3) a válců o průměru 150 mm a výšce 300 mm. Část těchto vzorků byla testována po 10, 20, 28, 60 a 90 dnech od jejich výroby, výsledky jsou uvedeny v tab. 3. Zbylých 150 krychlí bylo převezeno do Podzemního výzkumného pracoviště Bukov (PVP Bukov) pro zkoušky dlouhodobějšího charakteru (obr. 4).

### TEST APLIKACE SMĚSI NÁSTŘIKEM

V rámci řešeného projektu byla v jeho závěru řešena stříkaná varianta směsi. Vzhledem k požadavku na nástřík v podzemí byla zvolena varianta suchého stříkání, na kterou byli pracovníci v PVP

Tab. 3 Základní vlastnosti finální betonové směsi (BF) se sníženým pH po 28 a 90 dnech tvrdnutí

Tab. 3 Basic properties of the final low pH concrete mixture after 28 and 90 days of hardening

dny day	28 28	90 90
objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ] bulk density [kg/m <sup>3</sup> ]	2230 2230	2250 2250
pevnost v tlaku [MPa] compressive strength [MPa]	47,6 47,6	52,3 52,3
modul pružnosti [GPa] modulus of elasticity [GPa]	28,3 28,3	28,3 28,3
max. hloubka průsaku [mm] max. water penetration depth [mm]	8 8	7 7
nasákavost [%] absorbability [%]	3,3 3,3	
hydratační teplo [°C] hydration heat [°C]	30,3 30,3	
pH pH	11,01 11.01	10,73 10.73

subsequent development of the concrete was based on two mortar materials, the composition of which is shown in Tab. 1.

The next step was to add coarse-fractioned aggregate, i.e. with a grain size of 8–16mm, which was accompanied by an increase in the plasticiser ratio from 1.5 to 2 weight percentage of the total weight of the binding material. However, while the liquid super-plasticiser constituted 2% by weight of the concrete material, the active (organic) dry matter content of the additive was no more than 30–40%. Due to the requirement for the use of local raw materials, CEM II 52.5 R was replaced by CEM I 42.5 R. The next stage consisted of the adjustment of the recipe with concern to the workability of the fresh mixture. Following this modification, the fresh mixture had a higher content of air, thus requiring the addition of a defoaming agent. A higher content of air leads to a reduction in the bulk density of the concrete and thus a reduction in the resulting mechanical properties. The result of the gradual optimisation process was a concrete mixture, the composition of which is presented in Tab. 2; its basic properties are listed in Tab. 3.

### BULK PRODUCTION TEST

The production of the final mixture was tested by TBG Metrostav s.r.o. (1m<sup>3</sup> of material in total, Figs. 1, 2). The properties of the fresh mixture are summarised in Tab. 4. The production process involved the casting of a large number of samples – cubes with dimensions of

Tab. 4 Vlastnosti čerstvé směsi BF

Tab. 4 Properties of the fresh mixture

objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ] bulk density [kg/m <sup>3</sup> ]	2280 2280
obsah čerstvého vzduchu [%] fresh air content [%]	2,4 2.4
sednutí kužele [mm] cone slump test [mm]	130 130
teplota betonu při zamíchání [°C] concrete mixing temperature [°C]	19,2 19.2

Tab. 5 Složení směsi na aplikaci nástřikem v kg (BS)

Tab. 5 Sprayed concrete mixture composition in kg

kamenivo Dobříň 0–4 Dobříň aggregates 0–4	1670 1670
cement Mokrá CEM I 42,5 R Mokrá CEM I 42.5 R cement	140 140
mikrosilika Elkem 970 Elkem 970 microsilica	179 179
struska Dětmárovice Dětmárovice slag	32 32

Bukov připraveni a technologicky vybaveni. Při této variantě stříkání je předem namíchaná suchá směs pod tlakem přiváděna od plnicího stroje do hadice. Na konci hlavice dochází v hubici k mísení suché směsi s vodou a případně s urychlovačem, který nebyl v tomto případě použit. Množství vody ve směsi je regulováno podle vizuální kontroly nástřikové plochy (přidrženosti čerstvé směsi na podklad). Předem tedy nelze přesně určit množství vody ve směsi. Tloušťka nástřiku se pohybuje od 5–10 cm v závislosti na hrubosti povrchu. Stříkání probíhá vždy kolmo ke stříkanému povrchu (obr. 5). Strojní vybavení je ukázáno na obr. 6.

Receptura stříkané směsi (tab. 5) vycházela z kombinace výsledné varianty betonové směsi BF. Vzhledem k metodě suchého stříkání byla zvolena varianta malty, tedy směsi bez hrubého kameniva. Důvodem pro aplikaci malty byla nutnost předmíchání a napytlování suchých složek směsi, a to lze pouze do určité frakce kameniva, respektive písku. V podzemí nebylo možné průběžné



Obr. 4 Zkušební tělesa uložena v PVP Bukov  
Fig. 4 Test samples stored at the Bukov URF



Obr. 5 Zkouška nástřiku v PVP Bukov  
Fig. 5 Spray testing at the Bukov URF

150×150×150mm (Fig. 3) and cylinders of 150 mm in diameter and 300mm in height, a number of which were tested 10, 20, 28, 60 and 90 days following casting; the results are shown in Tab. 3. The remaining 150 cubes were transported to the Bukov Underground Research Facility (Bukov URF) for longer-term testing purposes (Fig. 4).

### SPRAY APPLICATION TESTING

The project was concluded with the design of a sprayed variant of the concrete mixture. Due to the requirement for spraying in a confined underground space, it was decided to employ the dry spraying technique, concerning which personnel at the Bukov URF were provided with the relevant technology. This spraying technique involves feeding the premixed dry mixture under pressure from the filling machine to the hose. The dry mixture is then mixed with water in the nozzle located at the end of the head of the hose; although it is possible to add a so-called accelerator to the mixture, this was not the case during testing



Obr. 6 Stroj na stříkání betonu  
Fig. 6 Concrete spraying machine

dávkování hrubého kameniva a stříkání betonové směsi. Pro nerovný povrch stěny (horniny) je zároveň jemnozrnější materiál vhodnější a homogennější. Ze směsi byl oproti finální variantě BF vyloučen plastifikátor i odpeňovač. Důvodem byl fakt, že pro aktivaci plastifikátoru je nutné důkladné promíchání se směsí. V tomto případě by byl plastifikátor do směsi dávkován až v trysce a nedošlo by, vzhledem k vysokému množství jemnozrných částic (zejména mikrosiliky), k dostatečnému promíchání. Směs s plastifikátorem by také mohla ve vertikální poloze ze stěny stékat. U většiny stříkaných betonů je do trysky přiváděn i urychlovač tuhnutí, který má za úkol zajistit, že nastříkaná směs nebude z povrchu odpadávat a dojde k rychlému přilnutí. Receptura byla připravena na variantu nástřiku s i bez urychlovače. Zkušební nástřik potvrdil předpoklad, že navržená směs je díky své jemnozrnnosti a složení přilnavá, ze zdi neodpadává. Nebylo tedy nutné urychlovač aplikovat. Výsledné složení receptury BS je uvedeno v tab. 5.

Nástřik byl vizuálně zkontrolován po 28 dnech od aplikace a zároveň byla odvrtána jádra pro testování (obr. 7). Jádřové odvrtky byly zvoleny průměru cca 75 mm a 50 mm. Menší průměr byl zvolen z důvodu odvrtání co nejdelšího vzorku z vybraných prohlubní skály, na které byl aplikován nástřik. Výsledky, po přepočtu na krychelnou pevnost, potvrdily konzistenci z hlediska výsledné pevnosti betonu v tlaku.

Po vizuální stránce byl test úspěšný. Materiál byl přilnavý k povrchu a jeho struktura byla homogenní, nebyla zřejmá segregace materiálu či výraznější vrstevnatost nástřiku (obr. 8). Z povrchu vývrtů je ale místy patrné nanášení materiálu po vrstvách vzhledem k prvotní aplikaci nástřiku a optimalizaci konzistence stříkané směsi během nástřiku. Podrobné výsledky z těchto odběrů nejsou zatím dostupné.

at the Bukov URF. The amount of water in the mixture is regulated according to the visual inspection of the sprayed area (the adhesion of the fresh mixture to the spray surface). Thus, it is not possible to precisely determine the water content in the mixture in advance. The thickness of the sprayed material varied from 5 to 10cm depending on the roughness of the surface. Spraying must always be performed perpendicular to the sprayed surface (Fig. 5). The spray machine is shown in Fig. 6.

The sprayed mixture recipe (Tab. 5) was based on a combination of the resulting final concrete mixture variants. As a result of the selection of the dry spraying method, the mortar variant was chosen, i.e. a mixture without the presence of coarse aggregates. The reason for the application of the mortar was the necessity for the premixing and storage of the dry components of the mixture, which is only possible with aggregates up to certain dimensions, i.e. up to sand fraction dimensions. The simultaneous application of coarse aggregates and the sprayed concrete mixture was not possible in the underground testing environment. Finer-grained materials are generally more homogeneous and more suitable for uneven surfaces (rocks). The plasticiser and defoaming agents were omitted from the sprayed mixture due to the necessity for thorough mixing with

the other components in order to activate the plasticiser. In the case of dry sprayed application, the plasticiser would have to be introduced into the mixture in the nozzle, which would not allow for sufficient mixing due to the presence of a large amount of fine-grained particles (especially microsilica). Moreover, the addition of a plasticiser could have led to the sprayed concrete "sliding" down the vertical spray surface. With respect to most sprayed concretes, a hardening accelerator is also fed into the nozzle so as to enhance adherence capability and so ensure that the sprayed mixture does not fall off the surface. Although the recipe considered mixtures with and without the presence of an accelerator, the spray test confirmed the assumption that the proposed mixture (without an accelerator) would adhere to the wall due to its fine-grained composition and that no accelerator was necessary. The final composition of the sprayed concrete is shown in Tab. 5.

The sprayed concrete was visually inspected 28 days following application and core samples with diameters of approximately 75mm and 50mm were extracted for testing purposes (Fig. 7). The smaller diameter was chosen for the core drilling of the longest possible sample from the selected depressions in the rock face to which the spray was applied. The results, following conversion to cube strength, confirmed a high degree of consistency in terms of the compressive strength of the concrete.

The test was successful from the visual point of view. The material adhered to the surface and its structure was homogeneous; moreover, no apparent segregation of the material or significant layering were apparent (Fig. 8). However, in some cases, the drill cores indicated the partial layering of the material due both to the initial application of the spray material and the optimisation of the consistency of the sprayed mixture during spraying. The detailed results from the study of the samples are not yet available.



Obr. 7 Odvrtávání vzorků z nastříkaného betonu v PVP Bukov  
Fig. 7 Drilling of sprayed concrete samples at the Bukov URF



Obr. 8 Odvrtané jádro betonu s horninou  
Fig. 8 Drilled concrete core with the rock

## ZÁVĚR

Vývoj a test nové směsi trval celkem 22 měsíců. Směs splnila všechny požadavky – pH nižší než 11,2, mechanické vlastnosti srovnatelné s běžnými betony, použití lokálních surovin a obsah organických přísad do 2 %. Zároveň byla výroba nové směsi odzkoušena v komerční betonárce zamícháním objemu 1 m<sup>3</sup> běžným způsobem a na závěr byl optimalizovaný materiál úspěšně aplikován nástřikem přímo v podzemí.

Ing. LUCIE HAUSMANNOVÁ, Ph.D.,  
hausmannova@surao.cz,

Ing. MARKÉTA DOHNÁLKOVÁ,  
dohnalkova@surao.cz, SÚRAO,

Ing. DAVID ČÍTEK, david.citek@cvut.cz,

doc. Ing. JIŘÍ KOLÍSKO, Ph.D., jiri.kolisko@cvut.cz,  
Kloknerův ústav, ČVUT v Praze

Recenzoval *Reviewed:* doc. Ing. Radoslav Sovják, Ph.D.

## CONCLUSION

The design and testing of the new mixture took a total of 22 months. The mixture fulfilled all the pre-set requirements – a pH value of lower than 11.2, mechanical properties comparable to those of conventional concretes, the use of local raw materials and an organic additive content of a maximum of 2%. The production of the new mixture was tested at a commercial concrete mixing plant via the preparation of 1 m<sup>3</sup> of the material employing the conventional approach and, finally, the material was successfully applied using the spraying technique in a confined underground environment.

Ing. LUCIE HAUSMANNOVÁ, Ph.D.,  
hausmannova@surao.cz,

Ing. MARKÉTA DOHNÁLKOVÁ,  
dohnalkova@surao.cz, SÚRAO,

Ing. DAVID ČÍTEK, david.citek@cvut.cz,

doc. Ing. JIŘÍ KOLÍSKO, Ph.D., jiri.kolisko@cvut.cz,  
Kloknerův ústav, ČVUT v Praze

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] CAU DIT COUMES C. Low pH cements for waste repositories: a review. – Laboratoire d' Etude de l' Enrobage des Déchets, 2008
- [2] EL BITOURI Y., BUFFO-LACARRIERE L., SELLIER A., BOURBON X. Modelling of chemo-mechanical behaviour of low pH concretes. – Cement and Concrete Research, 81, 2016
- [3] VEHMAS T. & HOLT E. WP1 Experimental studies – State of the art literature – review. – CEBAMA, 2016
- [4] PERNICOVA R., CITEK D., DOBIAS D., MANDLIK T., KRATOCHVILE L., KOLISKO J. Rešeršní zpráva k problematice betonu s nízkým pH určeným do prostředí úložiště radioaktivního odpadu. SÚRAO technická zpráva TZ 243/2018

# VÝSTAVBA STANIC METRA METODOU PILE-BEAM-ARCH (PBA) CONSTRUCTION OF METRO STATIONS USING PILE-BEAM-ARCH (PBA) METHOD

KAREL VOJTASÍK, DONG YANG GENG

## ABSTRAKT

Při metodě Pile-Beam-Arch (PBA) je v horninovém prostředí pod povrchem terénu z pomocných tunelů postupně vytvářena konstrukce stavby stanice s využitím základních konstrukčních prvků – základového pásu, pilotové stěny, sloupu, trámu a klenby. Tato metoda má předpoklady minimalizovat deformace v okolním horninovém prostředí a poklesy povrchu terénu, které obecně doprovázejí výstavbu podzemních objektů v malých hloubkách pod povrchem. Na příkladu stanice Qianmen na lince 3 pekingského metra je dokumentován princip, postup a technologie výstavby stanic metra metodou PBA.

## ABSTRACT

At the Pile-Beam-Arch (PBA) method, the station structure is gradually created from auxiliary tunnels in the ground environment under terrain surface, using basic structural elements – strip footings, pile walls and vaults. This method has potential to minimise deformations in the surrounding ground environment and the subsidence of terrain surface, which generally accompanies construction of underground structures at small depths under the terrain. The principle, procedure and technique of the construction of metro stations using the PBA method of constructing metro stations is documented on the example of Qianmen station on Line 3 of Beijing metro.

## ÚVOD

Dynamický rozvoj čínských měst klade mimořádné nároky na městskou hromadnou dopravu, jmenovitě na množství přepravovaných osob, pokrytí oblasti, rychlost a kulturu cestování i environmentální dopady. Jedinou formou, která bez výhrad splňuje uvedené požadavky, je podzemní dráha – metro. Na počátku roku 2019 bylo v Čínské lidové republice provozováno metro v 37 městech, s celkovou délkou všech linek 5 142 km. Na výstavbu dalších a rozšiřování již existujících podzemních drah bylo v minulém roce vynaloženo 300 miliard jüanů.

Podzemní stanice, společně s traťovými tunely, jsou základními součástmi metra. Podzemní stanice jsou lokalizovány do míst s hustou městskou zástavbou a rozsáhlou inženýrskou infrastrukturou. Ražby

## INTRODUCTION

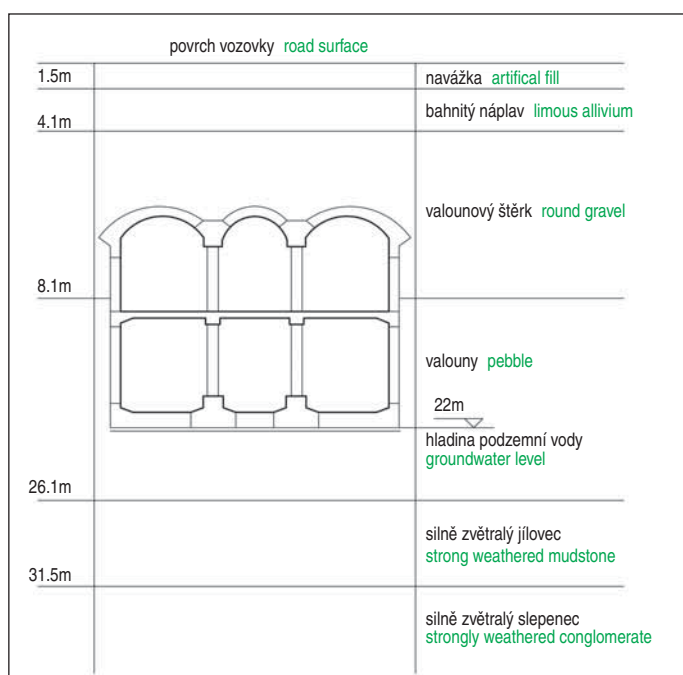
The dynamic development of Chinese cities places extraordinary demands on urban mass transit, namely the number of transported persons, the area coverage, travel speed and culture, as well as environmental impacts. The only form which meets the above-mentioned requirements without reservations is underground railway – metro. At the beginning of 2016, metro was operated in China in 37 cities, with the overall length of all lines amounting to 5142km. Last year, yuan 300 billion were invested into the development of other underground railways and expansion of already existing ones.

Underground stations together with running tunnels are fundamental parts of metro. Underground stations are located into dense urban development places with extensive infrastructure of utility services. Excavation for stations and running tunnels is always accompanied by deformations of the surrounding ground environment. When underground structures of metro are located at small depth under the surface, deformations of the excavation propagate themselves through the overburden up to the surface, causing its subsidence. Overburden deformations and surface subsidence are a serious threat to existing utility services infrastructure and surface development when they exceed prescribed limiting values.

Construction of underground metro stations using the PBA method is suitable for construction of underground hall spaces at small depths under the surface. The method can be very approximately considered to be a modification of the German core-leaving method, where the final lining formed by abutments and an upper vault is replaced with a system of pile walls, longitudinal beams and vaults. The application of internal pillars expands the possibility of the method for constructing a multi-vault underground hall. The method allows for significant minimisation of deformations of the environment, which always accompany the construction of large cross-section underground structures under shallow overburden.

## SITUATION

Qianmen station on the Line 3 of Beijing metro is found in the north of Qianmen street and Guang'an street. The station is a two-storey, three-vault structure with the platform in the central nave. The



Obr. 1 Geologický profil prostředím stanice Qianmen  
Fig. 1 Geological profile of the Qianmen station environment





Obr. 2 Letecký snímek okolí stanice Qianmen  
Fig. 2 Aerial photo of the Qianmen station surroundings

stanic a traťových tunelů metra vždy doprovázejí deformace okolního horninového prostředí. Jsou-li podzemní objekty metra lokalizovány v malé hloubce pod povrchem, deformace výrubu se propagují nadloží až k povrchu, kde tvoří poklesy. Deformace nadloží i poklesy povrchu jsou vážnou hrozbou pro stávající inženýrskou infrastrukturu a povrchovou zástavbu, pokud překročí stanovené limitní hodnoty.

Výstavba podzemních stanic metra metodou PBA je vhodná k výstavbě halových podzemních prostor v malých hloubkách pod povrchem. Metodu je možno velmi přibližně pokládat za modifikaci německé jádrové metody, kdy definitivní ostění, tvořené opěrami a horní klenbou, je nahrazeno soustavou pilotových stěn, podélných trámů a kleneb. Aplikace vnitřních sloupů rozšiřuje možnosti metody na vybudování vícelodní podzemní haly. Metoda umožňuje významně minimalizovat deformace prostředí, které vždy doprovázejí výstavbu podzemních děl velkých průřezů s nízkým nadložím.

## SITUACE

Stanice Qianmen na lince 3 pekingského metra se nachází na severu ulice Qianmen a ulice Guang'an. Stanice je dvoupodlažní trojlodní s nástupištěm ve střední lodi. Stanice je dlouhá 209 m a je orientována severojižním směrem. Příčné rozměry stanice jsou šířka 23,3 m a výška 6,2 m. Mocnost nadloží kolísá od 5,5 do 6,0 m.

Geologický profil prostředí, ve kterém je stanice metra umístěna, tvoří vrstva antropogenních sedimentů, pod kterou následují vrstvy aluviálních (holocénních fluviálních) sedimentů (obr. 1). Hladina podzemní vody pod povrchem terénu kolísá v rozmezí od 20,4 do 21,7 m a souvisí s vrstvou dobře propustných aluviálních štěrkopísků, které se nacházejí v horizontech od 22,4 do 24,1 m pod povrchem terénu. Z předchozích zkušeností s výstavbou podpovrchových staveb v Pekingu projekt předpokládá snižování hladiny podzemní vody pomocí čerpacích studní.

V blízkém okolí podzemní stanice metra se nacházejí významné objekty, například Národní divadlo a budovy dalších institucí (obr. 2). Nadloží stanice je prostoupeno rozsáhlou a komplikovanou soustavou mnoha inženýrských sítí, jako jsou vodovody, plynovody, elektrovedy, informační kabely, kanalizace, sběrače dešťové vody a podobně.

Výstavba trojlodní dvoupodlažní halové podzemní stanice v této situaci tudíž vyžaduje dodržení velmi nízkých hodnot deformací výrubu, nadloží i povrchu území.

stanice je 209m dlouhá a je orientována v severojižním směru. Přesné rozměry stanice jsou šířka 23,3 m a výška 6,2 m. Mocnost nadloží kolísá od 5,5 do 6,0 m.

Geologický profil prostředí, ve kterém je stanice metra umístěna, tvoří vrstva antropogenních sedimentů, pod kterou následují vrstvy aluviálních (holocénních fluviálních) sedimentů (obr. 1). Hladina podzemní vody pod povrchem terénu kolísá v rozmezí od 20,4 do 21,7 m. Je související s vrstvou dobře propustných aluviálních štěrkopísků, které se nacházejí v horizontech od 22,4 do 24,1 m pod povrchem terénu. Na základě předchozích zkušeností s výstavbou podpovrchových staveb v Pekingu projekt předpokládá snižování hladiny podzemní vody pomocí čerpacích studní.

Významné budovy jsou nalezeny v blízkosti metra, například Národní divadlo a budovy dalších institucí (obr. 2). Nadloží stanice je prostoupeno rozsáhlou a komplikovanou soustavou mnoha inženýrských sítí, jako jsou vodovody, plynovody, elektrovedy, informační kabely, kanalizace, sběrače dešťové vody a podobně.

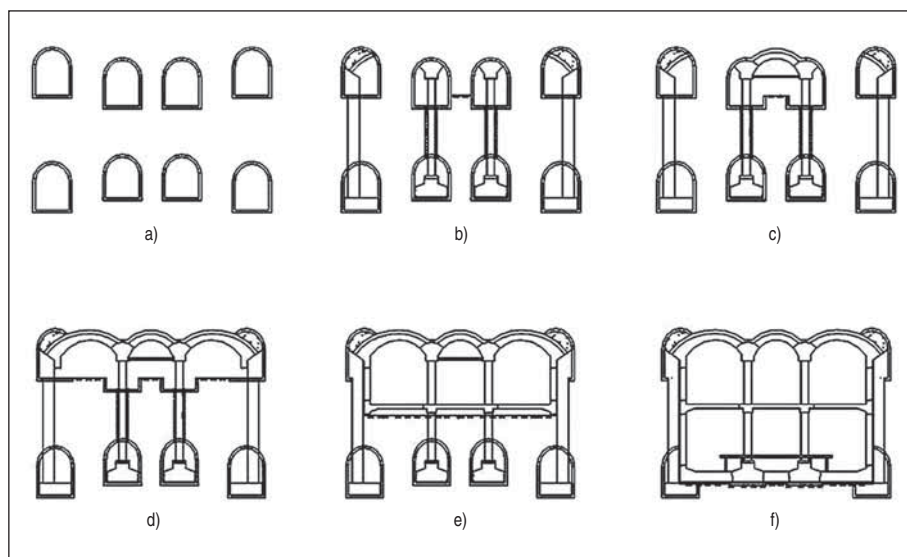
Výstavba trojlodní dvoupodlažní halové podzemní stanice v této situaci tudíž vyžaduje dodržení velmi nízkých hodnot deformací výrubu, nadloží i povrchu území.

## PBA METHOD AND CONSTRUCTION STAGES

Metoda PBA je tvořena soustavou pilotových stěn, podélných trámů a kleneb. Implementace této metody vyžaduje soustavu dočasných pomocných galerií, z nichž jsou provedeny jednotlivé konstrukční prvky v jednotlivých fázích výstavby.

Rozměry pomocných galerií závisí na rozměrech zařízení a mechanismů, které budou použity pro provedení pilotových stěn, podpůrných sloupů, pruhových základ a vazebních trámů. Výstavba stanice metodou PBA je rozdělena do fází, které jsou ilustrovány na obr. 3.

Výstavba začíná vykopávkou a vykopávkou podpůrných pomocných galerií, které jsou umístěny na dvou horizontálních úrovních. První, horní úroveň, odpovídá poloze podélných trámů a kleneb. Druhá, spodní úroveň, odpovídá poloze pruhových základ. Pomocné galerie mají obloukové klenby, vertikální stěny a rovinné dno. Tyto



Obr. 3 Etapy výstavby stanice; (a) pomocné chodby/štolý, (b) výstavba pilot, sloupů a hlavních nosníků/průvlaků, (c) výstavba obloukové klenby střední lodi stanice, (d) výstavba obloukových kleneb bočních lodí stanice, (e) hloubení a výstavba horní etáže stanice, (f) hloubení a výstavba spodní etáže stanice

Fig. 3 Station construction stages; (a) auxiliary corridors/galleries, (b) development of piles, columns and main beams/head beams, (c) development of an arched vault of central nave of the station, (d) development of arched vaults over the side aisles of the station, (e) excavation and construction of the upper level of the station, (f) excavation and construction of the lower level of the station

#### METODA PBA A ETAPY VÝSTAVBY

Konstrukční systém metody PBA tvoří *pilotové stěny, sloupy, základové pásy, trámy a klenby*. K realizaci konstrukčního systému je zapotřebí soustava dočasných pomocných chodeb, ze kterých, eventuálně ve kterých, jsou v příslušných etapách výstavby vybudovány jmenované konstrukční prvky.

Rozměry pomocných chodeb jsou dány velikostí technologických zařízení a mechanismů, kterými budou provedeny pilotové stěny, opěrné sloupy, základové pásy a svazující trámy. Výstavba stanice metodou PBA je rozčleněna na etapy, které jsou ilustrovány na obr. 3.

Výstavbu zahajuje ražba a zajištění pomocných chodeb, které jsou umístěny na dvou horizontálních úrovních. První, horní úroveň, odpovídá oblasti umístění podélných trámů a kleneb. Druhá, spodní úro-



Obr. 4 Pohled na zhotovený základový pás v dolní pomocné chodbě s položenou hydroizolací

Fig. 4 View of the strip footing in the lower auxiliary gallery with the waterproofing installed

are excavated full-face, using short advance lengths, with mechanised, possibly manual disintegration of ground and shotcrete lining support, steel lattice girders and welded mesh.

Dimensions of the auxiliary galleries are designed taking into consideration dimensions of the equipment and mechanisms to be used for construction of pile walls, supporting columns, strip footings and binding beams (head beams).

After completion of the excavation and excavation support of the galleries, strip footings on which pile walls and columns are to rest (see Fig. 4) are first carried out in the lower auxiliary galleries.

Pile walls (see Fig. 5) are subsequently carried out from the upper external auxiliary galleries (see Fig. 5). They will subsequently provide stability of the station side walls during the course of the excavation of the station core. Two parallel rows of shafts (see Fig. 6) are sunk from the upper internal auxiliary galleries. Internal columns are carried out which will support both side walls from both sides of the

central vault and from one side of both side vaults of the station, and further also the structure of the floor slab between the station storeys to be carried out later.

The next construction step lies in preventative strengthening of the direct overburden above the future vaults by grouting carried out from the space of side and internal galleries.

In the subsequent construction stage, beams are carried out above the pile walls and the rows of piles (see Fig. 7). The cross-sections of the beams are designed with the objective that they are to partially fill the space under the vaults of the auxiliary galleries, support the overburden and allow for fluent connection of the structures of both side vaults and the central vault. The completed structures of the pile walls, columns and beams will locally stabilise the overburden above



Obr. 5 Pohled na vyústění pilotové stěny v horní vnější pomocné chodbě

Fig. 5 View of the pile wall tops in the upper auxiliary gallery



Obr. 6 Pohled z horní vnitřní pomocné chodby na ruční hloubení šachtice před instalací ocelobetonového sloupu (vlevo) a instalované ocelobetonové sloupy (vpravo)

Fig. 6 Hand-excavation of a shaft before installation of the steel-concrete column (for the left) and the steel-concrete columns after installation (for the right), viewed from the upper internal auxiliary gallery

veň, odpovídá oblasti umístění základových pásů. Pomocné chodby mají obloukovou klenbu, svislé stěny a ploché dno. Jsou raženy krátkými záběry na plný profil s mechanizovaným, eventuálně manuálním rozpojováním horniny a zajištěny ostěním ze stříkaného betonu, ocelových příhradových trámů a výztužné sítě.

Rozměry pomocných chodeb jsou navrženy podle velikosti technologických zařízení a mechanismů, kterými budou prováděny pilotové stěny, opěrné sloupky, základové pásy a svazující trámy (průvlaky).

Po vyražení a zajištění pomocných chodeb se nejdříve ve spodních pomocných chodbách vybudují základové pásy (obr. 4), na kterých mají spočívat pilotové stěny a sloupky.

Z horních vnějších pomocných chodeb se následně budují pilotové stěny (obr. 5), které budou zajišťovat stabilitu boků stěn stanice během hloubení jádra stanice. Podobně se vyhloubí z horních vnitřních pomocných chodeb dvě paralelní řady šachet (obr. 6), do kterých se vybudují vnitřní sloupky stanice, které budou podpírat z obou stran střední a z jedné strany obě boční klenby stanice a dále také později budovanou konstrukci mezipatrové desky stanice.

Dalším krokem výstavby je preventivní zpevnění přímého nadloží nad budoucími klenbami injektážemi realizovanými z prostoru pomocných krajních a vnitřních chodeb.

V následné etapě výstavby se nad pilotovými stěnami a řadami sloupů provádějí trámy (obr. 7). Příčné průřezy trámů jsou navrženy tak, aby částečně vyplnily prostor pod klenbami pomocných chodeb, podepíraly nadloží a umožnily plynulé napojení konstrukcí obou bočních a střední klenby. Dokončené konstrukce pilotových stěn, sloupů a trámů budou lokálně stabilizovat nadloží nad nimi. Úplnou stabilizaci nadloží zajistí střední a obě boční klenby, které jsou vetknuty do podélných trámů.

Po vybudování trámů následuje nejnáročnější etapa výstavby, kterou je ražba a zajištění klenb stanice (obr. 8). Ražba klenb se provádí plným profilem krátkými záběry s následným zajištěním definitivní konstrukcí klenby. Před každým záběrem se odstraní příslušná část boku primárního ostění pomocných chodeb, která překáží napojení konstrukce ostění klenby na podélné trámy. Pokud to vyžadují okolnosti, provede se stabilizace masivu před čelbou. Vybudováním definitivní konstrukce klenb je nosná konstrukce stanice dokončena.

them. Complete stabilisation of the overburden will be ensured by the central gallery and both side galleries, which are fixed into the longitudinal beams.

After completion of the beams, the most complicated construction stage, i.e. excavation and excavation support of the station vaults (see Fig. 8), follows. The excavation for the vaults is carried out full-face, with short excavation rounds and subsequent support of final structures of the vaults. Before each excavation round, the respective part of the side of the primary lining of the auxiliary galleries preventing the vault lining structure from connecting to the longitudinal beams is removed. If required by the circumstances, the ground mass ahead of the excavation face is stabilised. The load-carrying structure of the station is finished by conducting the final structures of the vaults.

The excavation of the upper level of the station follows under the protection of the vaults and side pile walls. Structural floor slabs are built on the temporary bottom between the upper and lower level of the station and the side walls are finished at the upper level



Obr. 7 Pohled na zhotovený podélný trám v jedné ze středních horních štol, vlevo je část konstrukce hlavy ocelobetonového sloupu

Fig. 7 View of a completed longitudinal beam carried out in one of central upper galleries; part of the structure of a steel-concrete column head is pictured left



Obr. 8 Výstavba klenby  
Fig. 8 Construction of a vault

Pod ochranou vytvořených kleneb a bočních pilotových stěn následuje odtěžení jádra horní etáže stanice. Na dočasném dně se vybudují nosné stropní desky mezi horní a spodní etáží stanice a dokončí se boční stěny v etáži (obr. 9). V poslední etapě se vyhloubí jádro spodní etáže, vybuduje se konstrukce dna a dokončí boční stěny ve spodní etáži.

## ZÁVĚR

Metoda PBA umožňuje výstavbu vícelodních mělce uložených podzemních konstrukcí, jakými jsou stanice metra nebo podchody pro pěší.

Výstavba stanice metra metodou PBA probíhá na několika nezávislých pracovištích souběžně, což zkracuje délku doby výstavby v porovnání s jinými metodami.

Metoda klade mimořádné nároky na řízení výstavby, neboť je nutné zabezpečit součinnost dílčích pracovišť, plynulou návaznost konstrukčních operací a kontrolu provedené práce. Příprava a zpracování projektu výstavby stanice metodou PBA a následné řízení výstavby s řešením problémů, které během výstavby nastávají, a které se účastní desítky zhotovitelů, nemohou probíhat jinak než s podporou platformy BIM.

*doc. Ing. KAREL VOJTASÍK, CSc.,  
karel.vojtasik@vsb.cz, VŠB TU-Ostrava,  
Ing. DONG YANG GENG, dongyang.geng.st@vsb.cz,  
Hebei GEO University Shijiazhuang, ČLR*

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

## Poděkování

Příspěvek byl zpracován za podpory programu Centra kompetence Technologické agentury České republiky (TAČR) v rámci projektu Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI), číslo projektu TE01020168.



Obr. 9 Pohled na odtěženou horní etáž budované stanice  
Fig. 9 View of the excavated upper level of the station under construction

(see Fig. 9). At the last stage, the core of the lower level is excavated, the bottom structure is carried out and the side walls are finished at the lower level.

## CONCLUSION

The PBA method allows for construction of multi-vault structures located shallow under the ground surface, such as metro stations and pedestrian subways.

The construction of a metro station using the PBA method proceeds concurrently at several workplaces, which fact reduces the duration of construction in comparison with other methods.

The method places extraordinary demands on construction management because it is necessary to ensure cooperation of partial workplaces, fluent succession of construction operations and inspection of the work done. The preparation and processing of the design for the construction of a station using the PBA method and the subsequent management of the construction process comprising dealing with the problems which occur during the course of construction and which is participated by tens of contractors, cannot proceed other than with the BIM platform support.

*doc. Ing. KAREL VOJTASÍK, CSc.,  
karel.vojtasik@vsb.cz, VŠB TU-Ostrava,  
Ing. DONG YANG GENG, dongyang.geng.st@vsb.cz,  
Hebei GEO University Shijiazhuang, ČLR*

## Acknowledgements

The paper was prepared with the support of the programme of the Competence Centre of the Technology Agency of the Czech Republic (TAČR) within the framework of the Centre for Effective and Sustainable Transport Infrastructure (CESTI), project No. TE01020168.

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] Xinrong Liu, Yongquan Liu, Zhongping Yang, et al. Numerical analysis on the mechanical performance of supporting structures and ground settlement characteristics in construction process of subway station built by Pile-Beam-Arch method. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2017, 21(5):1690–1705.
- [2] Liu J Z., Sun L C., Zang Z., Xu H., Ding Y P. Study on Mechanical Effect of PBA Tunnel Pile Construction in Metro Station. *Chinese Journal of Underground Space and Engineering*, 14 No. S1. PP 240–247, 2018. ISSN: 1673-0836.
- [3] Luo F R., Wang Y H. Analysis of Surface Deformation of Underground Excavated Subway Station Constructed by PBA Method in Beijing Area, *Tunnel Construction*, 32 No. 1. PP 127–133, 2016. ISSN: 1672-741X.

# FOTOREPORTÁŽ ZE SLAVNOSTNÍHO PRORAŽENÍ NOVÉHO ŽELEZNIČNÍHO TUNELU DEBOREČ DNE 11. 2. 2020

## PICTURE REPORT FROM CEREMONIAL BREAKTHROUGH OF THE NEW RAILWAY TUNNEL, DEBOREČ, ON 11<sup>TH</sup> FEBRUARY 2020

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



# GEOtest



Společnost **GEOtest, a.s.** poskytuje široké spektrum služeb v inženýrské geologii, geotechnice, hydrogeologii a ekologických oborech. Je také dodavatelem geotechnických prací pro velké infrastrukturní projekty zahrnující tunely a další typy podzemních staveb.

[www.geotest.cz](http://www.geotest.cz)

## S NÁMI BUDE VÁŠ PROJEKT V BEZPEČÍ

- Geotechnika a inženýrská geologie
  - Geotechnický monitoring
- Hydrogeologie a vodní hospodářství
  - Ochrana životního prostředí
- Projektování geotechnických staveb
  - Projektování vodohospodářských a dopravních staveb

**AZCONSULT** spol. s r.o.

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

telefon: +420 475 240 888  
e-mail: [azconsult@azconsult.cz](mailto:azconsult@azconsult.cz)  
[www.azconsult.cz](http://www.azconsult.cz)



- ◆ Hlubkové vibrační zhutňování
- ◆ Velkopřůměrové piloty
- ◆ Malopřůměrové piloty
- ◆ Deep Soil Mixing
- ◆ Trysková injektáž
- ◆ Zemní (horninové) kotvy
- ◆ Hřebíkování zemin
- ◆ Dynamické zhutňování
- ◆ Štětovnicové stěny
- ◆ Pažicí a těsnicí stěny
- ◆ Hlubkové odvodnění

www.KellerGrundbau.cz

**KELLER - speciální zakládání, spol. s r.o.**  
Na Pankráci 30, 140 00 Praha 4  
Tel.: +420 226 211 301  
E-mail: office.praha@keller.com

**Kancelář Brno:**  
Václavská 120, 619 00 Brno  
Tel.: +420 547 424 381  
E-mail: office.brno@keller.com

**Kancelář Zlín**  
K Cihelně 246, 763 02 Zlín  
Tel.: +420 577 103 700  
E-mail: office.zlin@keller.com

## ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB THE WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

### MOZAIKA ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB

#### ■ Podzemní rybí a rostlinná farma

Švýcarská společnost Amberg zahájila v roce 2019 výzkumný projekt zaměřený na chov ryb a pěstování rostlin v podzemních prostorech. Po prověřování možností a podmínek v rámci první etapy byl v druhé etapě zahájen chov duhových lososů a pěstování salátu pomocí hydroponické metody. Pro pěstování salátu byla provedena optimalizace osvětlení, tak aby rostliny měly vyhovující a ekonomickou světelnou intenzitu.

Podstata systému fungování „podzemní“ farmy je následující: voda z rybních nádrží je obohacena živinami, jejichž původ je i v rybních exkrementech, teče do plochých nádrží, kde z vody rostliny spotřebovávají živiny. Následně se voda vrací do rybních nádrží. Do vodního systému je vložen také biofiltr.

Předpokládá se, že farmy vybudované v podzemí měst by měly snížit produkci CO<sub>2</sub> vznikající provozem automobilů dovážejících produkty z větších vzdáleností a také energii potřebnou ve sklenících na povrchu pro vytápění nebo chlazení. Úspory by přinesla relativně stálá teplota v podzemí.

#### ■ Z rozhovoru s novou prezidentkou ITA/AITES zvolenou v roce 2019

V rámci generálního shromáždění ITA/AITES, které se konalo v roce 2019 v Neapoli, byla poprvé za dobu existence Mezinárodní tunelářské asociace do jejího čela zvolena žena. Je jí profesorka Jenny Yan, která se více než 30 let věnuje podzemnímu stavitelství, dnes ve své současné funkci zástupce ředitele Čínské železniční akademie.

Zde z rozhovoru ocitujeme jen úvodní pasáž, ve které se prof.

Jenny Yan věnovala základním údajům charakterizujícím obrovský rozmach tunelového stavitelství v Číně.

Do konce roku 2017 Čína postavila a uvedla do provozu 127 tis. km železnic včetně 25 tis. km vysokorychlostních. Na těchto tratích je 14 700 tunelů o celkové délce 15 751 km. Ve stejné době Čína staví 4,77 milionu km rychlostních komunikací, z nichž 136 tis. km jsou dálnice. Tyto stavby zahrnují 16 281 tunelů o celkové délce 15 240 km.

V posledních pěti letech bylo ročně uvedeno do provozu cca 1400 km železničních tunelů a 1000 km tunelů pro rychlostní komunikace.

Pokud jde o městskou hromadnou dopravu, na konci roku 2017 bylo v provozu 165 kolejových linek ve 34 městech o celkové délce 5033 km, z toho bylo 3884 km podpovrchových.

V současnosti je ve výstavbě 20 tis. km tunelů a dalších cca 20 tis. km se projektuje.

#### ■ Poslední dlouhý tunel na nové trati Stuttgart – Wendlingen – Ulm dokončen

Německé železnice (DB) coby investor oslavily na konci října 2019 za účasti mnoha významných hostů dokončení mechanizovaných ražeb posledního velkého tunelu Albvorland na výše zmíněné trati. Uskutečnilo se to prorážkou jižní trouby strojem EPBs nazvaným Wanda, zatímco severní troubu prorazil stejný typ stroje nazvaný Sibyla v srpnu 2019.

Oba stroje mají průměr 10,82 m. Segmentové ostění má vnější průměr 10,50 m a vnitřní 9,60 m, tloušťka segmentů je 450 mm a jejich délka činí 2,00 m. Nejtěžší segment má hmotnost 10,5 t. Dodavatel je švýcarská firma Implenia, která při ražbě dosáhla průměrného denního výkonu 15 m s tím, že nejvyšší denní výkon byl 32 m.

Tunel Albvorland délky 8176 m bude jedním z nejdelších tunelů v železniční síti DB.

#### ■ První prorážka na stavbě nového kmenového sběrače Thames Tideway v Londýně

Na konci října 2019 dokončil tunelovací stroj EPBs o průměru 3,00 m ražbu 1,1 km kanalizačního sběrače v rámci výše zmíněné stavby. Tento sběrač bude napojen na hlavní kmenový sběrač délky 25 km, jehož vnitřní průměr bude 7,2 m a z větší části je trasován pod řekou Temží v hloubce od 35 m do 65 m.

Ražba první sekce tohoto kmenového sběrače délky 5 km brzy skončí průnikem stroje do jeho cílové šachty.

#### ■ Moderní stroj pro ražbu šikmého tlakového přivaděče

Ve švýcarském kantonu Tessino se staví nová hydroelektrárna, která bude využívat spád mezi Ritomským jezerem (1850 m n. m.) a údolím u městečka Piota (1006 m n. m.). Pro ražbu šikmého tlakového přivaděče délky 1,5 km vyrobila firma Herrenknecht moderní razicí stroj o průměru 3,2 m. Úklon šikmého tunelu bude až 90 % (skoro 42°). Ražba šikmého přivaděče by měla být zahájena na jaře roku 2020.

Nová elektrárna nahradí původní postavenou v roce 1917.

#### ■ Otevřena okružní linka metra v Kodani (City Ring Metro Line)

Koncem září 2019 byla slavnostně dánskou královnou otevřena 15,5 km dlouhá okružní linka kodaňského metra. Očekává se, že přispěje zásadním způsobem ke snížení neúnosné dopravní zátěže současných linek metra a zvýší tak komfort cestování. Na lince budou jezdit moderní plně automatizované soupravy bez řidiče, které by měly ročně přepravit 100 mil. cestujících.

Na lince je 17 nových podzemních stanic. Ražbu obstaraly čtyři

tunelovací stroje o průměru 4,9 m, které pracovaly v hloubkách od 20 m do 35 m. Ostění tunelů je provedeno ze stříkaného betonu. Na trase je několik únikových šachet, které současně slouží pro větrání tunelů a údržbu podzemních prostor.

Při výstavbě linky, která trvala 8 let, bylo nutné překonat řadu obtíží, k nimž především patřil úsek tlačivých hornin, křížení vodních ploch, ražba pod vodními kanály a pod hustou zástavbou mnohde tvořenou historickými objekty. U jednoho z nich štítrazil jen jeden a půl metru pod základy domu, přičemž provoz v domě a v obchodech, které se v něm nacházejí, nemusel být omezen či zastaven.

#### ■ Inženýrský týden ve Velké Británii

Královská inženýrská akademie uspořádala 6. listopadu 2019 Inženýrský den, jako první akci následujícího inženýrského týdne. Ten by měl zvýšit povědomí o náplni práce inženýrů, a co vše inženýrské obory zahrnují.

Podle nejnovějších výzkumů totiž 76 % mladých lidí ve věku 11 až 19 let v UK netuší, co lidé pracující v inženýrských oborech skutečně dělají. Podle Královské akademie tato skutečnost ohrožuje budoucí rozvoj společnosti a ochranu životního prostředí.

Z průzkumu vyplynulo, že je nutné zaměřit se na rodiče a vychovatele mladých lidí a zvýšit jejich znalost inženýrských profesí, protože 72 % rodičů nemá žádnou nebo jen malou znalost, čím se inženýrské profese zabývají. A přitom 62 % mladých ve věku 11 až 16 let se s rodiči radí o své budoucí profesi.

Proto chce Královská akademie vyvíjet trvalé úsilí, aby se výrazně zvýšila povědomost o inženýrské problematice mladých lidí i jejich rodičů.

Ing. MILOSLAV NOVOTNÝ  
mila\_novotny@volny.cz

## ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ

## NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCES

### 68. GEOMECHANICKÉ KOLOKVIUM V SALZBURGU 68<sup>TH</sup> GEOMECHANICS COLLOQUIUM IN SALZBURG

It is a long tradition to inform in the TUNEL journal about the Geomechanics Colloquium organised by our Austrian colleagues in Salzburg. The two-day conference was divided into four thematic areas. The first theme was on "Urban Tunnelling: a technical and logistical challenge". The second theme of the first colloquium day was on "Research and development in tunnelling". The second day of the colloquium was opened by a thematic block of lectures titled "Long-term experience with retaining structures". The geomechanics colloquium was concluded by a block of lectures attractive for tunnellers, titled "Challenges during the construction of the Brenner base tunnel". The colloquium, packed with very successful and interesting themes, was opened and closed, as every year, by Prof. Wulf Schubert, Chairman of the Austrian Society for Geomechanics. Apart from the professional level, the colloquium with its accompanying events was also a societal and cultural event providing an opportunity for professionals from the field of geotechnics and underground construction to meet.

Je již dlouholetou tradicí informovat v časopise Tunel o Geomechanickém kolokviu, které požádají naši rakouští kolegové v Salzburgu. Dvoudenní konference byla rozdělena do čtyř tematických oblastí. Prvním tématem bylo „Tunelování ve městech – technické a logistické výzvy“ a obsahovalo celkem 6 přednášek. Úvodní přednáška s názvem „Viedeňské metro, stanice Neubaugasse – přípravné práce a výzvy na povrchu“ popisovala úskalí výstavby v budoucnu přestupní stanice metra na trase U2, která křížuje již provozovanou trasu U3. Výstavba probíhá v hustě osídlené a zastavěné oblasti Mariahilfer Straße a vyžadovala četné přeložky sítí, logistická řešení při maxi-

málním zachování obslužnosti území i opatření k rychlému obnovení provozu na povrchu. Jako zajímavost lze vyzdvihnout metodu hloubení šachet pod zastropením. Pro projekt stanice a křížení byl vytvořen 3D geologický model zájmového území. Obdobnou tematikou se zabývala přednáška „Trasa U5, výstavba v centru Berlína – technická a logistická výzva“, která pojednávala o výstavbě traťového úseku metra se třemi stanicemi, trasou vedenou pod známou berlínskou ulicí Unter den Linden a podcházející koryto řeky Sprévy. Trasa propojuje stávající stanice Brandenburger Tor na trase U55 a Alexander Platz, která je momentálně konečnou stanicí na trase U5. K těsnění prostředí byly použity tryskové injektáže, pro stabilizaci výrubu a zlepšení horninového masivu pod hladinou podzemní vody v místě podchodu Sprévy bylo použito zmrazování. Potřebného utěsnění prostředí bylo dosaženo po 40 dnech od zahájení zmrazování a po 75 dnech dosahovala mocnost zmrazeného horninového prostředí staticky požadovaných 2,5 m. Aspekty sociálních potřeb při výstavbě podzemních staveb v hustě zastavěném území Londýna na projektu Crossrail se zabýval příspěvek „Moderní městské tunelování – reakce na sociální potřeby“. Přednáška s názvem „Na hranici možností – ražba v nesoudržných zeminách pod městskou dálnicí v Torontu“ pojednávala nejen o technickém řešení podchodu frekventované dálnice železničním tunelem na trati spojující kanadská města Toronto a Kitschener, ale i o procesu změn technického řešení v průběhu soutěže. Železniční tunel byl v zadávací dokumentaci navržen jako dvoukolejný obdélníkového tvaru, ražený pod ochranou ocelových trub v oblasti stropu a obou boků tunelu. V rámci nabídky navrhl uchazeč dva jednokolejné tunely ražené konvenčně rovněž pod ochranou předháněných ocelových trub. Pro ověření funkce navrženého technického řešení





Obr. 1 Geomechanické kolokvium v Salzburgu  
Fig. 1 Geomechanics colloquium in Salzburg

byl použit složitý 3D matematický MKP model. Stavba v době prezentace příspěvku ještě nebyla zahájena. Nasazením NRTM na americkém kontinentu se zabýval i další příspěvek s názvem „NRTM pro výstavbu významných projektů metra v Severní Americe“. Projekt Stuttgart21 se stal již synonymem pro ambiciózní technické řešení železniční dopravy v SRN, vedení trasy v tunelech a zaústění vysokorychlostních tratí do nově prováděného podzemního nádraží ve Stuttgartu. O výstavbě tunelů pod městem a těžkostech spojených jak s ražbou v obtížných geologických podmínkách anhydritu, tak složitých kříženích ražených tunelových tras, kdy dno jednoho tunelu tvoří strop níže křížujícího druhého tunelu, pojednávala poslední přednáška prvního tematického bloku s názvem „Tunely Feuerbach a Bad Cannstatt – speciální požadavky na tunelování v centru města a obtížných geotechnických podmínkách“.

Druhé téma prvního dne kolokvia neslo název „Výzkum a vývoj v tunelovém stavitelství“ a jeho obsahem bylo celkem 6 přednášek. První z přednášek s názvem „Výzkum pracovní skupiny ÖBB-Drenáže k materiálu drenážního potrubí“ poukázala na problematiku životnosti a údržby tunelových drenáží. V současné době je ve správě rakouských železnic ÖBB celkem 420 km tunelových drenáží různého stáří. Po dokončení básových tunelů Koralalm, Semmering a Brenner se toto číslo zvýší na 1081 km. Dlouhodobým čistěním dochází k poškození drenážního potrubí, dalším problémem je jejich zanášení výluhy z betonu ostění i horninového masivu. Proto byla při ÖBB vytvořena multiprofesní skupina, která se zabývá vývojem materiálů, které by zvýšily životnost potrubí při čistění a snížily usazování výluhu. Téma druhé přednášky „O šancích a výzvách nasazení umělé inteligence v podzemním stavitelství – poznatky o automatizované klasifikaci ražby na příkladu průzkumné štoly Ahrental-Pfons pro Brennerský básový tunel“ směřovala spíše do budoucnosti a ukazovala možný vývoj při nasazení umělé inteligence v této oblasti na konkrétním příkladu průzkumné štoly pro Brennerský básový tunel. Zcela jiným tématem byly informace podané v přednášce „Nový standard Americké asociace pro beton ACI 533 týkající se aspektů projektování a realizace tubingů“ pojednávající o skladbě segmentového ostění, jeho zatížení, tolerancích, testování a konstrukčních detailech. Matematického modelování při ražbě tunelů pomocí TBM a segmentového ostění se týkala i další přednáška s názvem „Robustní návrh segmentového ostění – potenciál pokročilých numerických simulací pro návrh tunelů ražených TBM“. Přednáška s názvem „Určování zemin při ražbě zeminovým štítem: přehled aktuálních laboratorních zkoušek“ byla zaměřena na oblast mechaniky zemin a využití laboratorních testů pro potřeby zeminových štítů. Poslední přednáška druhého tematického bloku a prvního dne kolokvia s názvem „Experimentální porovnání analytických metod k hodnocení reakce budov na poklesy vlivem tunelování“ se týkala vyhodnocení analytických postupů, které jsou v současné době k dispozici a podle kterých je možné posoudit reakci budovy na deformace nadloží vyvolané tunelováním.

Druhý den kolokvia zahájil tematický blok přednášek s názvem „Dlouhodobé zkušenosti s opěrnými konstrukcemi“. První přednáška s názvem „Vady úhelníkových opěrných zdí vlivem koroze – experimentální a matematické simulace“ poukázala na problém obtížně identifikovatelných poruch úhelníkových zdí spojených s korozi výztuže v pracovních spárách na straně konstrukce, která je zasypána zeminou. Přednášející seznámil se systémem monitoringu vyvinutým pro tento typ konstrukcí, který na základě natočení a protažení zdi dokáže signalizovat nebezpečí spojené zejména s korozními úbytky nosné výztuže v rohu úhelníkové zdi. Koncept monitoringu byl ověřen pomocí zatěžovacích zkoušek pokusných vzorků úhelníkových zdí.

Přednáška „Řízení rizik opěrných konstrukcí na dopravní síti ve spolkové zemi Štýrsku“ byla zaměřena na praktické použití metody řízení rizik opěrných konstrukcí při jejich kontrole, údržbě a návrhu opatření. Byly také publikovány vzorce pro stanovení koeficientu rizika podle různých faktorů závisících na stavu konstrukce a jejího poškození, typu konstrukce, výšky funkčnosti odvodnění apod. Přednáška s názvem „Údržba opěrných konstrukcí na státních silnicích ve Švýcarsku“ seznámila přítomné, jakým způsobem je zajišťována na opěrných konstrukcích ve správě spolkového úřadu pro silniční síť ASTRA jejich stav a zaručena bezpečnost. V rámci pětiletých prohlídek podle směrnice 12002 je vizuálně kontrolován stav všech opěrných konstrukcí. V případě potřeby, kdy vizuální kontrola nestačí, jsou prováděna další sledování a podle výsledků rizikové analýzy jsou konstrukce zařazeny do skupin a navržena případná opatření. Ta jsou doporučována na základě hodnocení variant. Způsob sledování konkrétního objektu je navržen na základě jeho možností kolapsu. Na základě průzkumu prováděného v letech 2006 až 2013 na národních silnicích N5 a N9 se ukázalo, že vizuální kontrola neposkytuje potřebné informace k identifikaci vad. K odvrácení hrozby zřícení těchto konstrukcí bylo investováno cca 150 milionů švýcarských franků. Předmětem přednášky byly i výsledky případových studií pro posouzení rizik spojených s kotvenými a nekotvenými opěrnými konstrukcemi. Přednáška s názvem „1850–2019: Zkušenosti s opěrnými konstrukcemi ve správě ÖBB-Infrastruktura“ hodnotila z dlouhodobého hlediska stav kotvených a nekotvených opěrných konstrukcí různých typů i materiálů, ze kterých byly postaveny. V dalším příspěvku s názvem „Kotvené opěrné konstrukce z počátku 80. let v oblasti Salzburgu“ autoři poukazují na skutečnost, že pravidelné kontroly kotvených opěrných konstrukcí vykazují v posledních deseti letech zásadní vady trvalých kotev. Zabývají se různými typy kotev i konkrétními příklady opěrných konstrukcí na silniční síti i možnostmi oprav poškozených opěrných konstrukcí. Tematický blok o opěrných konstrukcích završila přednáška s názvem „Zpráva o zkušenostech s údržbou různě kotvených podpůrných konstrukcí na vysoko položené silniční síti“.

Geomechanické kolokvium završil tunelářsky atraktivní blok přednášek s názvem „Výzvy v průběhu výstavby Brennerského básového tunelu“. Úvodní přednášku tohoto bloku s názvem „Brennerský básový tunel – geologické, stavebně-technické a logistické výzvy a inovace v polovině výstavby“ prezentoval prof. Konrád Bergmeister, který byl řadu let vedoucím projektu této významné stavby. V rámci prezentace představil historii projektu, koncepci technického řešení, geotechnické poměry, problematiku využití a deponování vyrubaného materiálu i řadu inovativních opatření. K těm patří dimenzování konstrukcí na životnost 200 let, optimalizace plochy výrubu u konvenčního tunelování nebo použití autonomních vozidel pro dopravu segmentového ostění k tunelovacímu stroji na úseku Tulfes – Pfons. Pro ražbu téměř 230 km podzemních systémů Brennerského básového

tunelu konvenčními i kontinuálními tunelovacími metodami hraje zásadní roli správná klasifikace horninového masivu, identifikace poruchových zón, stanovení geotechnických parametrů a správné určení vlastností i chování masivu při ražbě. Touto tematikou se zabývala druhá přednáška závěrečného bloku s názvem „Geotechnická klasifikace a charakteristika horninového masivu při výstavbě Brennerského bazového tunelu – metodika a řešení“. V celé délce tunelu je v předstihu ražena průzkumná štola, která má za úkol s dostatečným předstihem poskytnout dostatek informací pro ražbu hlavních traťových tunelů a multifukčních stanic. Problematikou zpětné analýzy výsledků získaných při ražbě 15 km dlouhé štoly pomocí TMB se zabývala přednáška s názvem „Brennerský bazový tunel, úsek H33 Tulfes-Pfons: interakce mezi tunelovacím strojem a horninovým masivem, jakož i opatření pro zvládnutí událostí v poruchových zónách“. Příspěvek s názvem „Analýza diskových sil TBM – možnosti použití“ upozornil na možnost hodnocení horninového masivu, jeho kvality, orientace diskontinuit vzhledem ke směru výrubu i identifikaci poruchových zón. Hodnocení by bylo možné provádět na základě hodnocení sil na řezných discích tunelovacího stroje. Tato metoda je teprve v začátcích a její vývoj bude znamenat porovnávání skutečně

dokumentovaných geotechnických podmínek a výsledků sil na discích řezných nástrojů tunelovacího stroje při ražbě v tomto prostředí. Tento vývoj umožňuje právě ražba průzkumné štoly v celé délce tunelu a paralelní ražba traťových tunelů. Využitím informací získaných při ražbě průzkumné štoly při ražbě tunelů a metodami průzkumu prováděného ve štole se zabýval i poslední příspěvek celého kolokvia s názvem „Ražba 15 km průzkumné štoly v úseku H33 Tulfes – Pfons pomocí TBM – přenos zkušeností a znalostí na hlavní úsek tunelů“.

Velmi úspěšné a zajímavými tématy nabitě kolokvium jako každý rok zahájil i ukončil předseda Rakouské geomechanické společnosti prof. Wulf Schubert. Kromě odborné úrovně byla svými doprovodnými akcemi i společenskou a kulturní událostí poskytující příležitost k setkání odborníků z oblasti geotechniky a podzemních staveb. Tak se již dnes můžeme těšit na 69. ročník geomechanického kolokvia, které je letos spojené s Rakouským tunelářským dnem a koná se v Salzburgu ve dnech od 7. 10. do 9. 10. 2020. Bližší informace je možné získat na adrese [www.oegg.at](http://www.oegg.at). Veškeré příspěvky, které na kolokviu zazněly, je možné si přečíst v 5. čísle časopisu Geomechanics and Tunneling 2019.

Ing. LIBOR MAŘÍK, HOCHTIEF CZ, a. s.

## TUNELÁŘSKÉ ODPOLEDNE 2/2019

### TUNNEL AFTERNOON 2/2019

The theme of the second Tunnel Afternoon 2019 was „Swiss landscape – in the footsteps of historical underground structures“. The seminar was prepared, as several times in the past, by Mr. Ladislav Lahoda from the Historical Underground Research society – CMA; he projected a film on Swiss underground and accompanied it by his comments and many interesting stories. The beautiful footage certainly attracted many participants to go to some of the places in the future in person and it is possible to maintain that after watching this film, people will look at the Swiss landscape through completely different optics.

Druhé Tunelářské odpoledne roku 2019 se konalo 6. listopadu v Centru vzdělávání Skupiny Metrostav. Vzhledem k neklesajícímu zájmu o problematiku historického podzemí se tématem stala historická podzemní díla již počtvrté. Toto Tunelářské odpoledne připravil jako i v minulosti pan Ladislav Lahoda, který se problematikou zabývá po velmi dlouhou dobu.

Tentokrát jsme zavítali mimo území České republiky, přednášející své vystoupení pojmenoval „Švýcarskou krajinou – po stopách historických podzemních staveb“. Během odpoledne se promítal film, který spolu se svými kolegy natočil pan Lahoda během svých cest po švýcarském území. Celý film doprovázel svými komentáři a mnoha zajímavými příběhy, které se vázaly vždy ke znázorňovaným podzemním dílům, jevům a dalším skutečnostem, které sám zažil, prozkoumal, objevil... Krásné záběry určitě nalákaly mnoho účastníků k tomu, aby se v budoucnu na některá místa osobně vydali, a je možné tvrdit, že po zhlédnutí tohoto filmu se budou lidé dívat na švýcarskou krajinu zcela odlišnou optikou.

Celkem se tohoto Tunelářského odpoledne zúčastnilo téměř 70 lidí. Více informací o tematické lze vyhledat na internetových stránkách CMA – společnosti pro výzkum historického podzemí [www.podzemi-cma.cz](http://www.podzemi-cma.cz).

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

## TISKOVÁ KONFERENCE ČKAIT – KOLEKTOROVÝ SYSTÉM MĚST V ČR A NA SLOVENSKU

### CCAET PRESS CONFERENCE – UTILITY TUNNEL SYSTEMS IN CITIES AND TOWNS IN THE CR AND IN SLOVAKIA

On 17<sup>th</sup> December 2019, the Czech Chamber of Authorised Engineers and Technicians in Construction (CCAET) organised a press conference on the technical solution for utility tunnel networks in Prague and other towns in the CR and Slovakia. The objective of the conference was to inform, through media, the wide public about the possibilities of leading utility networks in cities and towns without the necessity for expensive interventions into terrain surface relating to subsequent repairs, solving defects or extensions of the utilities.

Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) uspořádala dne 17. 12. 2019 tiskovou konferenci o technickém řešení kolektorových sítí v Praze a dalších městech v ČR i na Slovensku. Cílem konference bylo seznámit prostřednictvím médií širokou veřejnost s možností vedení inženýrských sítí ve městech, aniž by jejich následné opravy, řešení havárií nebo rozšiřování bylo spojeno s nákladnými zásahy do povrchu území.

Výstavba kolektorů má v České republice dlouholetou tradici a lze konstatovat, že nejen jejich realizace, ale i předpisová základna patří

k evropské špičce. K zásadním předpisům patří v roce 2017 novelizovaná norma ČSN 73 7505 *Sdružené trasy městských vedení technického vybavení* nebo *Technické podmínky pro projektování a výstavbu sdružených tras inženýrských sítí 3. a 4. kategorie*, které byly vypracovány pro centrální oblast hlavního města Prahy, Brna i dalších měst na našem území. Ukládání sítí do sdružených tras je velmi stará a již v historii prosazovaná metoda. První sdružené vedení sítí bylo nalezeno ve starém Římě, kde existují kilometry starých kamenných klenutých štol pro rozvod vody, později využitých i pro jiná média. V Evropě je možno jmenovat mnoho měst, kde byly postaveny v různých dobách již dokonalé kolektorové systémy (z největších např. Madrid, Paříž, Londýn, Berlín, Zürich aj.). V Praze bylo v posledních letech postaveno celkem 93,7 km kolektorových tras, které díky vzniklým právním předpisům patří k jedněm z technicky nejdokonalějších na světě. Kolektorová síť řeší výše popsané problémy, a navíc umožňuje inženýrské síť vždy kontrolovat, udržovat, eventuálně vyměňovat, pokládat nové sítě a provádět údržbu na technickém vybavení kolektoru bez jakéhokoliv zásahu do povrchu ulice. Historie



Obr. 1 Tisková konference ČKAIT o kolektorovém systému v ČR  
Fig. 1 Press Conference of the Czech Chamber of Authorised Engineers and Technicians in Construction on the utility tunnel system in the CR

vzniku primárních kolektorů v Brně spadá do začátku sedmdesátých let. Podobně vznikaly kolektorové systémy v dalších městech, jako například Český Krumlov, Jihlava, Tábor, Ostrava. Sídlištní kolektory byly vybudovány ve většině našich krajských měst.

Prvním přednášejícím byl Ing. Jan Sochůrek z firmy Ingutis, který je místopředsedou normalizační komise pro kolektory SRN Lipsko, vykonával funkci HIP a na významných pražských stavbách metra a celého systému kolektorové sítě v Praze, Brně nebo Táboře. V přednášce s názvem „Kolektorový systém v Praze a České republice“ seznámil přítomné s koncepcí a technickým řešením kolektorů v Praze,

Brně a Bratislavě, s rozdělením kolektorů podle jejich účelu, náplně, umístění a velikosti a jejich pozitivním vlivem na provoz města i životní prostředí. Druhým přednášejícím byl pan Ing. Zbyněk Proške, který je vedoucím oddělení technické infrastruktury na katedře městského inženýrství Fakulty stavební na VŠB-TU Ostrava. Jeho přednáška byla zaměřena na kolektorovou síť v Ostravě. Sdílel podrobné informace o sítích vedených v ostravských kolektorech, jejich situování v rámci města, jejich konstrukčním řešením a monitorovacím systémem s přenosem informací na dispečink v síti GPRS. Specifikem ostravských kolektorů je jejich vedení v poddolovaném území ve složitých geologických poměrech s možností výskytu metanu. Posledním přednášejícím byl pan Ing. Jiří Klinger, který je viceprezidentem České asociace telekomunikací, členem sektorové rady pro IT a elektronické komunikace a místopředsedou zkušební komise ČKAIT pro obor technologická zařízení staveb. Jeho přednáška s názvem „Sítě elektronických komunikací, zákon o vysokorychlostním internetu, liniové stavby“ byla zaměřena obecně na legislativu spojenou s podzemním vedením sítí, tj. nejen v kolektorech, ale i kabelovodech, multikanálech, kynetách (kabelových rýhách), chráničkách apod. V přednášce upozornil, že stavební právní předpisy nám pro podzemní vedení energetiky a elektronických komunikací ukládají umístit tato vedení v zastavěných a zastavitelných částech měst a obcí pod zemský povrch, a to přednostně s využitím kolektorů, kabelovodů, resp. tzv. sdružených tras. V souvislosti s tím poukázal na současnou praxi, některá úskalí s vedením sítí ve městech a obcích. Celou tiskovou konferenci moderoval předseda ČKAIT, pan Ing. Pavel Křeček.

Ing. LIBOR MAŘÍK

## KRUŠNOHORSKÝ BÁZOVÝ TUNEL – PŘEDBĚŽNÁ TRŽNÍ KONZULTACE V PRAZE A KONFERENCE VE FREIBERGU

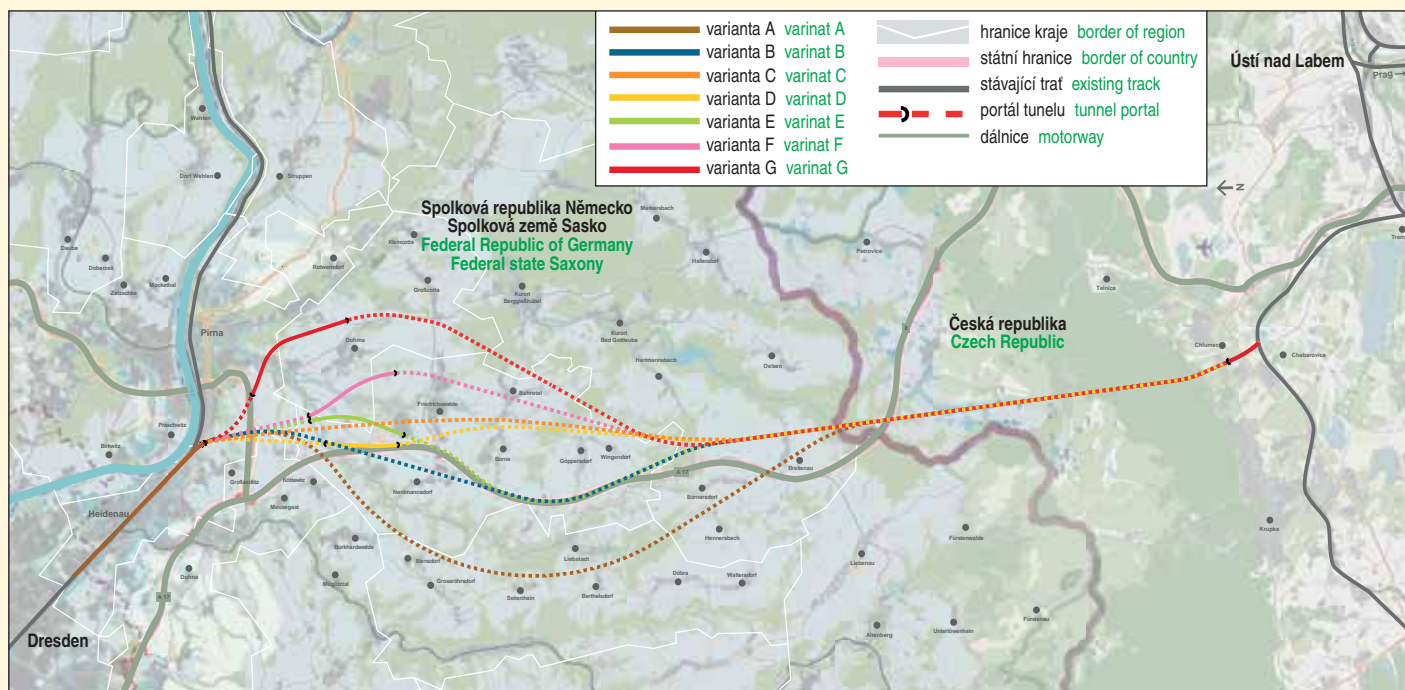
### ORE MOUNTAINS BASE TUNNEL – PRELIMINARY MARKET CONSULTATION IN PRAGUE AND CONFERENCE IN FREIBERG

The Ore Mountains base railway tunnel on the planned Prague – Dresden high-speed rail line, which is slowly getting into the awareness of the Czech public, is a joint project of the Czech Republic and the Federal Republic of Germany. On 15<sup>th</sup> January 2020 in Prague, representatives of the Railway Administration and the DB Netz informed in the form of a preliminary market consultation the interested parties about the planned stages of the project and development of a new Prague – Dresden railway link. The interest of the technical public was enormous and the participation was confirmed by representatives of 73 companies from the Czech Republic, Germany, Austria, Slovakia and other countries. On 23<sup>rd</sup> January 2020, the final all-day conference on the INTERBERREG-Va project on cross-border collaboration for development of Saxony – CR railway transport was held in Freiberg, Germany, in the premises of Alete Mensa.

Krušnohorský železniční bazový tunel na plánované vysokorychlostní trati Praha – Drážďany, který se pomalu dostává i do povědomí české veřejnosti, je společným projektem České republiky a Spolkové republiky Německo. V průběhu ledna 2020 se objevily v kalendáři zájemců o tento projekt hned dvě možnosti, jak se dozvědět z hlediska dalšího vývoje zase o něco více. První akce se konala 15. ledna 2020 v Praze a zástupci Správy železnic i DB Netz formou předběžné tržní konzultace informovali zájemce o předpokládaných etapách projektu i výstavby nového železničního spojení Praha – Drážďany. Zájem technické veřejnosti byl obrovský a účast potvrdili zástupci 73 firem z České republiky, Německa, Rakouska, Slovenska i dalších zemí. Spojení Berlín – Drážďany – Praha je významným spojovacím článkem, ve kterém se očekává výrazný nárůst přeshraniční železniční dopravy. Nevhodné topografické podmínky v oblasti údolí Labe, ve kterém je stávající trať trasována, tvoří úzké hrdlo, které na spojnicí

Praha – Drážďany nedovoluje zrychlení dopravy ani rozšíření tratě. Na německé straně tvoří stávající spojení elektrifikovaná dvoukolejná trať Dresden-Neustadt – Bad Schandau – státní hranice úsek délky 54,1 km umožňující maximální rychlost 100 km/h, resp. 160 km/h. Na české straně je rovněž elektrifikovaná dvoukolejná trať rozdělena na úsek Bad Schandau – státní hranice – Děčín a úsek Děčín – Ústí nad Labem s maximální rychlostí 105 km/h, resp. 160 km/h.

Po dokončení úseku by se trať zkrátila o 25 km a doba jízdy mezi Berlínem a Prahou ze současných 4:15 hod. na 2:30 hod., přičemž z Berlína do Drážďan by bylo možné se dostat za 90 min a za dalších 60 min by bylo možné dojet až do Prahy. Kromě uvedeného zkrácení trati i jízdních časů by nová trať snížila hlukovou zátěž nákladní dopravy a poskytla železniční spojení zabezpečené proti povodním. Spojení Drážďany – Ústí nad Labem je z hlediska financování a kompetencí rozděleno na tři oblasti. Oblast mezi Drážďany a obcí Heidenau je plně v kompetenci DB Netz (Německo), úsek Heidenau – Ústí nad Labem v délce 44 km je tzv. společným prostorem obou republik, ve kterém je dvoukolejná trať navrhována na rychlost 200 km/h a smíšený provoz nákladní a osobní dopravy. Pro osobní dopravu se předpokládá rychlost 200 km/h, pro nákladní dopravu 120 km/h. Klíčový pro tuto oblast je právě Krušnohorský bazový tunel, který podchází pohoří Krušných hor v délce až 26 km. Pro spojení Drážďan s Ústím nad Labem se zatím sleduje 7 variant vedení trasy označených písmeny A až F (obr. 1 Mapa variant). Pro ražbu tunelu se předpokládá použití jak konvenčních tunelovacích metod, tak ražba pomocí tunelovacích strojů. Před tunelem bude umístěno nádraží pro křižování a předjíždění vlaků. Po vzoru bazových tunelů bude v souladu s bezpečnostními požadavky EU záchranné nádraží umístěno i v tunelu. Oblast Ústí nad Labem je plně v kompetenci Správy železnic a České republiky. Napojení společné oblasti a národních



Obr. 1 Mapa variant Krušnohorského bázevého tunelu  
Fig. 1 Map of variants of the Ore Mountains base railway tunnel

oblastí bude koordinováno. Plánování, realizace a financování národních oblastí je plně v režii obou republik, úhrada nákladů společné oblasti je rozdělena podle kilometrů přeshraničních částí a odpovídá poměru 43 % pro ČR a Správu železnic a 57 % pro SRN a Deutsche Bahn. Příprava projektu je rozdělena do 9 fází. Jedná se o 1. Stanovení podkladů, 2. Předběžné plánování s odhadem nákladů, 3. Návrh projektu včetně propočtu nákladů, 4. Schvalovací projekty, 5. Prováděcí plánování, 6. Přípravu zadání zakázky, 7. Součinnost při zadávání zakázky včetně rozpočtu nákladů, 8. Dozor a dokumentaci. A konečně fáze 9: Zaopatření objektu včetně jeho kontroly před uplynutím záruky. Předmětem předběžné tržní konzultace byly projektové řízení a plánování pro první dvě fáze zpracování projektu, a sice společná veřejná zakázka na manažera projektu a plánování společné oblasti traťového úseku mezi Heidenau a Ústím nad Labem. Zadavatelem je Správa železnic a DB Netz jako společný zadavatel („Zadavatelé“). V rámci předběžné tržní konzultace byla registrovaným účastníkům poskytnuta celá řada informací k vlastnímu zadání soutěže, legislativnímu rámci zakázky i o představách zadavatelů o dosažených cílech v uvedených etapách.

O 9 dní později se dne 23. 1. 2020 v německém Freibergu v prostorách Alete Mensa konala závěrečná celodenní konference projektu INTERREG-Va Přeshraniční spolupráce pro rozvoj železniční dopravy Sasko – ČR. V rámci dopoledního programu konference byly představeny dosažené výsledky v oblasti dopravních a socio-ekonomických analýz, geologického zkoumání území a vizualizace výsledků v GIS nebo tvorby digitálního 3D geologického modelu a zatím dostupných podkladů pro jeho sestavení. Byly představeny dopravní prognózy pro časový horizont roku 2030 s VRT a bez VRT, přičemž bylo uvedeno, že v případě VRT by se předpokládalo spojení EC Berlín – Praha v hodinovém intervalu, každé dvě hodiny by v rámci regionální dopravy jezdily vlakové spoje Drážďany – Heidenau – Teplice a každé dvě hodiny by bylo zajištěno i spojení Drážďany – Ústí nad Labem. Potenciálními socio-ekonomickými přínosy vysokorychlostní tratě Praha – Ústí nad Labem – Drážďany pro příhraniční region se zabývali zástupci Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, kteří ve svém příspěvku informovali o vlivu VRT z pohledu jedince, firem i regionu. Odpolední program konference byl zaměřen na geologické aspekty zájmového území, ve kterém se předpokládá vedení trasy tunelu, a s nimi spojená rizika při projektování

i ražení podzemního díla. Přednášek se kromě celé řady odborníků z ČR i SRN účastnil i pan Gerhard Harer, který byl řadu let vedoucím projektu bázevého tunelu Koralm v Rakousku a který přednášel právě o zkušenostech z výstavby dlouhých tunelů ve složitých geotechnických podmínkách. Společně se Sabine Kulikov, která vede geologickou skupinu pro Krušnohorský bázevý tunel, byli oba účastníky panelové diskuse o dlouhých bázevých tunelech na konferenci Podzemní stavby Praha 2019. Přednášky odpoledního odborného kolokvia se týkaly možností geofyzikálních metod při zkoumání území, problematiky abrazivity zastižených hornin, metodiky jejího zjišťování a ekonomických dopadů při ražbě tunelu, hydrogeologických poměrů a vytváření koncepčních geologických modelů pro posuzování variant VRT Praha – Drážďany. Jako vstupní data jsou používány jak archivní podklady z ložiskového průzkumu v oblasti Krušných hor, tak zkušenosti z ražby tunelů na dálnici D8 i analýza příčin sesuvu na stejné dálnici u Dobkoviček. Konference končila v pozdních odpoledních hodinách a ze strany organizátorů byla perfektně zajištěna. Hlavní aktéry odpoledního programu ukazuje fotografie na obr. 2.

Ing. LIBOR MAŘÍK, HOCHTIEF CZ, a. s.



Obr. 2 Konference projektu INTERREG-Va Přeshraniční spolupráce pro rozvoj železniční dopravy Sasko – ČR  
Fig. 2 Conference of the INTERREG-Va Cross-border collaboration for development of Saxony – CR railway transport

## ŽELEZNIČNÍ MOSTY A TUNELY 2019 RAILWAY BRIDGES AND TUNNELS 2019

The jubilee 25<sup>th</sup> annual conference *Railway bridges and tunnels* was held on 16<sup>th</sup> January 2020 in the congress hall of Olšanka hotel. Half of the 2<sup>nd</sup> block was dedicated to tunnels. In the beginning, Ing. Michal Uhrin and Ing. Marcel Poštek from SUDOP Praha a.s. introduced an overview of railway construction projects: *Reconstruction of rail tracks in the Vinohrady tunnels, Modernisation of Ostrava rail junction; Study on circling of railway connection between Václav Havel Airport into Prague – Václav Havel Airport – Kladno rail track; Modernisation of Brno – Přerov rail track; Optimisation of Černošice – Berounka rail track; Plzeň railway junction, construction lot No. 5 – Lobzy-Koterov*. Then Ing. Tomáš Holubek from Subterra a.s. shared with the audience the experience from the construction of the Milochoh tunnel.

Dne 16. ledna 2020 se v kongresovém sálu hotelu Olšanka konal jubilejní 25. ročník konference *Železniční mosty a tunely*. Tunelům byla věnována polovina II. bloku, kde nejprve Ing. Michal Uhrin a Ing. Marcel Poštek představili průřez železničními projekty, které zaměstnávají středisko tunelů ve společnosti SUDOP PRAHA a.s. v roce 2019. Konkrétně se jednalo o projekty: „Rekonstrukce kolejí ve vinohradských tunelech“; „Modernizace železničního uzlu Ostrava“; „Studie zaokružování železničního spojení letiště Václava Havla do trati Praha – Letiště Václava Havla – Kladno“; „Modernizace trati Brno – Přerov“; „Optimalizace trati Černošice – Berounka“ a „Uzel Plzeň, 5. stavba – Lobzy-Koterov“. Poté se slova ujal pan Ing. Tomáš



Obr. 1 Přednášející Ing. Marcel Poštek  
Fig. 1 Speaker Ing. Marcel Poštek

Holubek ze spol. Subterra a.s. a podělil se s posluchači o zkušenosti z realizace tunelu Milochoh.

Konference *Železniční mosty a tunely* sice nepatří k nejvýznamnějším tunelářským událostem roku, přesto si již čtvrt století zachovává přízeň mnoha účastníků zejména z řad správců, investorů, projektantů a stavitelů těchto inženýrských staveb.

Ing. TOMÁŠ ZÍTKO, CEng MICE, EUR ING  
SUDOP PRAHA a.s.

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

### ČESKÁ REPUBLIKA

#### METRO D – NOVÁ LINKA PRAŽSKÉHO METRA

Od zahájení nulté etapy výstavby trasy metra D formou geologického průzkumu uplynulo od června 2019 již více než půl roku, a tak můžeme na všech čtyřech lokalitách v oblasti stanic Pankrác – Olbrachtova, kde je geologický průzkum situován, zaznamenat značný pokrok v postupu prováděných prací.

Společnosti INSET a GeoTec-GS provedly celkem 59 výchozích pasportů podzemních i nadzemních objektů v zóně ovlivnění stavby, a to včetně stávajících tunelů metra C, které se budou s novými tunele metra D výškově křížit. Bylo již také realizováno několik desítek hydrogeologických, inklinometrických a extenzometrických vrtů potřebných pro další monitoring a dokumentaci vývoje geologického prostředí dotčeného území.

Společnosti Metrostav, Hochtief a Strabag, které jsou základními nositeli všech prací v podzemí, kromě vybudování nezbytných areálů ZS a přeložek inženýrských sítí již kompletně vyhloubily tři ze čtyř vstupních šachet (obr. 1) a se začátkem letošního roku tak mohly úspěšně a podle platného harmonogramu zahájit i ražbu prvních metrů horizontálních štol a tunelů (obr. 2), které většinou kopírují stopu štol a tunelů budoucí provozované trasy metra D.

Velmi důležitá událost pro další plynulost výstavby trasy nastala v lednu 2020, kdy v souladu se schváleným fázováním další výstavby metra D byl zahájen výběr zhotovitelů stavební části prvního provozního úseku Pankrác – Olbrachtova s předpokladem zahájení stavby tohoto úseku v červenci 2020.

Pro další navazující úsek trasy Olbrachtova – Nové Dvory s přístupovými tunele z Písnice se s koncem roku 2019 obstaravatelé zadavatele stavby společnosti Inženýring dopravních staveb podařilo na

### THE CZECH REPUBLIC

#### METRO D – NEW LINE OF PRAGUE METRO

It has been more than six months since June 2019 since the start of the zero stage of the construction of the metro D line in the form of geological survey, therefore, we can record significant progress in work operations in all four localities in the area of Pankrác – Olbrachtova stations, where the geological survey is located.

The companies of INSET and GeoTec-GS carried out 59 initial condition surveys of underground and aboveground structures in the zone affected by the construction, including the existing metro C tunnels, which will be crossed by the new metro D tunnels at different levels. Several tens of hydrogeological, inclinometer



Obr. 1 Lokalita PAD 4  
Fig. 1 Locality PAD 4



Obr. 2 Lokalita VO-OL  
Fig. 2 Locality VO-OL

tento úsek podat žádost o stavební povolení. Tato procesní událost podpořila předpoklad plynulosti dále navazující výstavby se stále platným cílem dokončit trasu metra D v celé své délce v jednom čase.

Ing. BORIS ŠEBESTA, [borissebesta61@gmail.com](mailto:borissebesta61@gmail.com)  
Ing. MICHAL ŠERÁK, [serak@idspraha.cz](mailto:serak@idspraha.cz)

## NOVÉ ŽELEZNIČNÍ TUNELY NA IV. ŽELEZNIČNÍM KORIDORU

V rámci stavby „Modernizace trati Sudoměřice – Votice“ se budují dva nové železniční tunely. Oba tunely jsou raženy Novou rakouskou tunelovací metodou. Investorem stavby je Správa železniční dopravní cesty, s.o. a zhotovitelem stavby společnost OHL ŽS, a.s.

### Tunel Mezno

Tunel Mezno je ražený železniční dvoukolejný tunel celkové délky 840 m, z toho ražená část tvoří 768 m, navazující hloubená část u vjezdového portálu má délku 48 m a u výjezdového portálu 24 m.

Od září 2019 probíhá dovrchní ražba ze stavební jámy výjezdového (pražského) portálu. Úvodních 15 m ražby bylo realizováno ve vstrojovací třídě (VT) 5 se záběrem 1,0 m pod ochranou mikro-

and extensometer boreholes required for further monitoring and documenting the development of the geological environment of the affected territory have also been completed.

The companies of Metrostav, Hochtief and Strabag, which are the basic bearers of all work in the underground, with the exception of building up construction site facilities and relocations of utility networks necessary, have already completely excavated three of four entrance shafts (see Fig. 1), thus they could successfully and in compliance with the valid schedule commence at the beginning of this year the excavation of initial metres of horizontal galleries and tunnels (see Fig. 2), which mostly copy the footprint of galleries and tunnels of the future operating line of metro D.

An event very important for future fluency of the development of the metro line took place in January 2020, when the selection of contractors for the civil construction part of the first operational section Pankrác – Olbrachtova commenced in compliance with the approved phasing of the next development of the metro line D, with the assumption of starting the construction of this section in July 2020.

Regarding the following section of the line, Olbrachtova – Nové Dvory, with access tunnels from Písnice, the company of Inženýring Dopravních Staveb, the procurer for the contracting authority, managed to submit the application for construction permit for this section at the end of 2019. This procedural event supported the assumption of fluency of the subsequent development with the still valid goal of completing the metro line D in its entire length in one time.

Ing. BORIS ŠEBESTA, [borissebesta61@gmail.com](mailto:borissebesta61@gmail.com)  
Ing. MICHAL ŠERÁK, [serak@idspraha.cz](mailto:serak@idspraha.cz)

## NEW RAILWAY TUNNELS ON RAILWAY CORRIDOR IV

Two new railway tunnels are under construction within the framework of the “Modernisation of the Sudoměřice – Votice track” project. The two tunnels are being driven using the New Austrian Tunnelling Method. The Railway Infrastructure Administration, state organisation, is the project owner and OHL ŽS, a.s. is the construction contractor.

### Mezno tunnel

The Mezno tunnel is an 840m long mined double-track railway tunnel; 768m of its length are being mined; the following sections at the entrance and exit portals are 48m and 24m long, respectively. Since September 2019, the uphill excavation of the tunnel has been carried out from the construction pit for the exit (Prague) portal. The initial 15m of the excavation were driven through excavation class VT5 with the excavation round 1.0m long, under the protection of canopy tube pre-support prepared in advance within the framework

of the excavation of the construction pit. The excavation further proceeds through VT4 with the average excavation round length of 1.6m, locally through VT3 with the round length of 2.0m and through VT5 excavation class. The excavation has encountered mostly fractured paragneiss classified as R3 to R4 strength, with close to medium spacing of discontinuities. The rock is disintegrated using blasting. Muck is deposited and crushed directly in the area of the site arrangement. It is subsequently used within the framework of developing the new route of the corridor. The work on the excavation and stabilisation of the construction pit for the entrance portal proceeds simultaneously with the excavation of the tunnel. As of 21<sup>st</sup> January 2020, excavation of 330m of the top heading and 210m of the bench (see Fig. 3) has been finished.



Obr. 3 Čelba kaloty tunelu Mezno v TM 348  
Fig. 3 Mezno tunnel excavation face at tunnel chainage m 348



Obr. 4 Čelba kaloty tunelu Deboreč v TM 535

Fig. 4 Deboreč tunnel excavation face at tunnel chainage m 535

pilotového deštíku připraveného v předstihu v rámci hloubení stavební jámy. Dále se pokračuje převážně ve VT4 s průměrnou délkou záběru 1,6 m a lokálně ve VT3 se záběrem 2,0 m a VT5. Ražbou jsou zastíženy převážně rozpukané pararuly pevnostní třídy R3 až R4 s velkou až střední hustotou diskontinuit. K rozpojování horniny je využíváno trhacích prací. Přímo v areálu zařízení staveniště je výrub deponován, drcen a následně využíván v rámci budování nové trasy koridoru. Souběžně s ražbou probíhají práce na hloubení a zajišťování stavební jámy vjezdového portálu. K 31. 1. 2020 bylo vyraženo 330 m tunelu v kalotě a 210 m v opěři (obr. 3).

### Tunel Deboreč

Tunel Deboreč je ražený železniční dvoukolejný tunel celkové délky 660 m, z toho ražená část tvoří 562 m a navazující hloubené části u obou portálů mají délku 49 m.

Aktuálně se dokončuje ražba tunelu z vjezdového (pražského) portálu ve VT4 s délkou záběru 1,0 m. Kalota prochází pararulami pevnosti R4 až R5 s velkou hustotou diskontinuit a nepříznivým úklonem foliace. K 31. 1. 2020 bylo vyraženo 550 m tunelu v kalotě a 307 m v opěři (obr. 4). Po proražení tunelu v kalotě bude oproti původnímu projektu v úseku průchodu geologické poruchy profil uzavírán protiklenbou v délce 96 m.

Ing. TOMÁŠ JUST, [tjust@ohlzs.cz](mailto:tjust@ohlzs.cz), OHL ŽS, a.s.

## SLOVENSKÁ REPUBLIKA

### TUNELY NA DIAĽNIČNEJ SIETI

#### Tunely Ovčiarisko a Žilina

Oba diaľničné tunely Ovčiarisko (2 367 m) a Žilina (687 m) sú súčasťou diaľničného úseku D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka, ktorého celková dĺžka je 11,320 km. Diaľničný úsek tvorí južný obchvat mesta Žilina. Stavebníkom a zároveň budúcim správcom tunela je Národná diaľničná spoločnosť, a.s. Diaľničný úsek ušetrí motoristom 10 minút. Spustenie diaľničného úseku prispeje k lepším životným podmienkam tak pre mesto Žilina, ako aj pre okolie.

Zhotoviteľom diaľničného úseku D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka je Združenie Ovčiarisko (Doprastav, a.s. – líder združenia, Váhostav – SK, a.s. – člen združenia, STRABAG s.r.o. – člen združenia, Metrostav a.s. – člen združenia).

Samotná výstavba tunela Ovčiarisko začala v roku 1996 razením prieskumnej štôľne. Prieskumná štôľňa tunela bola prerazená v apríli 1998. Tunel tvoria dve samostatné tunelové rúry, každá pre jeden smer jazdy. Podľa dĺžky je zaradený medzi stredne dlhé tunely. Primárne

### Deboreč tunnel

The Deboreč tunnel is a 660m long mined double-track railway tunnel; 562m of its length are being mined; the following sections at the entrance and exit portals are 49m long each.

Currently the tunnel excavation from the exit (Prague) portal proceeding through VT4 with the excavation round length of 1.0m is being finished. The top heading is driven through paragneiss with strength class R4 to R5, with close spacing of discontinuities and unfavourable dip of foliation. As of 31<sup>st</sup> January 2020, 550m of the tunnel excavation (370m in the top heading and 307m in the bench – see Fig. 4) have been finished. After the breakthrough of the top heading, 96m of the profile will be closed by an invert in the section passing through a geological fault.

Ing. TOMÁŠ JUST,  
[tjust@ohlzs.cz](mailto:tjust@ohlzs.cz), OHL ŽS, a.s.

## THE SLOVAK REPUBLIC

### TUNNELS ON MOTORWAY NETWORK

#### Ovčiarisko and Žilina tunnels

Both motorway tunnels, the Ovčiarisko (2367m) and the Žilina (687m), are parts of the Podhradie – Lietavská Lúčka section of the D1 motorway. The total length of the section amounts to 11.320km. The motorway section forms the southern by-pass of the town of Žilina. Národná diaľničná spoločnosť, a. s. (National Motorway Society) is in the position of the project owner and, at the same time, the future tunnel administrator. The motorway section will save motorists 10 minutes. Opening the motorway section to traffic will contribute to better living conditions for both the town of Žilina and its surroundings.

The contractor for the construction of the Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka section of the D1 motorway is the Združenie Ovčiarisko consortium (Doprastav, a.s. – leader of the consortium, Váhostav – SK, a.s. – a member of the consortium, STRABAG s.r.o. – a member of the consortium and Metrostav a.s. – a member of the consortium).

The construction work on the Ovčiarisko tunnel itself commenced in 1996 by driving an exploratory gallery. The exploratory gallery of the tunnel broke through in April 1998. The tunnel is formed by two independent tunnel tubes, each one for one direction of travel. According to the length, the tunnel is categorised among medium-length tunnels. The construction of the primary linings around full profiles of the NTT and STT started in September 2014 and was finished in April 2016 and July 2016, respectively.

The work on the Žilina tunnel commenced in July 2014 by bulk excavation at the western portal. The realisation of the primary lining (tunnel excavation operations) started in November 2014 and, after 731 days, the Žilina tunnel broke through (January 2017). The whole tunnel construction proceeded in extremely complicated engineering geological conditions, which caused extension of the excavation period by 336 days.

Currently, the secondary linings in both tunnels are finished and the final phase of the construction work is underway, including elimination of snagging. The installation of dry fire mains in cross passages (based on project owner's requirement) remains to be finished and the installation of tunnel equipment – minor modifications before opening the tunnel to traffic – is being completed. A tactical exercise of rescue units will take place before the handover of the motorway section together with both tunnels to the client.

ostenie v plnom profile sa začalo realizovať v 09/2014 a bolo hotové v 04/2016 (STR), resp. v 07/2016 (JTR).

Práce na tuneli Žilina začali v 07/2014 zemnými úpravami na západnom portáli. Realizácia primárneho ostenia (razičské práce) začali v 11/2014 a po 731 dňoch bol tunel Žilina prerazený (01/2017). Celá výstavba tunela prebiehala v extrémne náročných inžinierskogeologických podmienkach, čo predstavovalo predĺženie razenia o 336 dní.

V súčasnej dobe sú v oboch tuneloch zrealizované sekundárne ostenia a prebieha finálna fáza realizácie spolu s odstraňovaním nedorobkov. Ostáva zrealizovať suchovody v priečných prepojeniach (na základe požiadavky objednávateľa) a finalizuje sa realizácia technológií tunelov – drobné úpravy pred uvedením tunelov do prevádzky. Pred samotným odovzdaním diaľničného úseku spolu s oboma tunelmi bude zrealizované taktické cvičenie záchranných zložiek.

### Tunel Čebrať

Súčasťou diaľničného úseku D1 Hubová – Ivachnová bude aj dvoj Rúrový tunel Čebrať s dĺžkou 3,68 km. V predošlých rokoch boli diagnostikované rozsiahle problémy so stabilitou územia na západnom portáli tunela Čebrať a nadväzujúcom úseku diaľnice, ktoré si vyžiadali rozsiahle zmeny v technickom riešení, ktoré musia byť posúdené v procese EIA a následne povolené v zmysle stavebného zákona. Z tohto dôvodu sú aj na začiatku roku 2020 ešte stále práce na tomto tuneli pozastavené a realizuje sa len projekt geologickej úlohy.

Zhotoviteľom stavby je združenie spoločností OHL ŽS, a.s., a Váhostav – SK, a.s.

### Tunel Višňové

Najdlhším slovenským diaľničným tunelom má byť tunel Višňové s dĺžkou 7,5 km, ktorý je súčasťou úseku diaľnice D1 Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala. Tunel je polohovo vedený južne od krajského mesta Žilina. Obe rúry tunela Višňové boli prerazené v auguste 2018, po 40 mesiacoch razenia. Betonáž sekundárneho ostenia je hotová na viac ako 60 % dĺžky tunela.

Začiatkom marca 2019 bola schválená a podpísaná dohoda o ukončení prác na úseku Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala medzi objednávateľom, Národnou diaľničnou spoločnosťou, a zhotoviteľom, združením Salini Impregilo – Dúha. V polovici roku 2019 boli práce tak na tuneli, ako aj na súvisiacom diaľničnom úseku ukončené. Koncom januára 2020 bolo vyhlásené verejné obstarávanie prác súvisiacich s pokračovaním a dokončením stavby diaľnice, pričom tieto zahŕňajú aj dokončenie stavebnej časti tunela. Na technologické vybavenie tunela bude vypísaná osobitná súťaž.

### Tunel Bikoš

V júli 2019 sa slávnostným poklepaním základného kameňa začala výstavba rýchlostnej cesty R4 Prešov, severný obchvat, I. etapa. Súčasťou 4,3 km dlhého úseku rýchlostnej cesty budovanej v plnom profile bude aj dvoj Rúrový tunel Bikoš s dĺžkou 1155 m. Aj začiatkom roku 2020 stále prebiehajú prípravné práce pre začiatok razenia tunela, ktorý sa predpokladá v máji. Zhotoviteľom stavby je združenie spoločností Váhostav – SK, a.s. a TuCon, a.s. Predpokladané ukončenie rýchlostnej cesty a jej uvedenie do prevádzky sa očakáva na jar 2023.

*Ing. VLADIMÍR ĎURŠA, Doprastav, a.s.  
Slovenská tunelárska asociácia*

### Tunel Prešov

Tunel Prešov je diaľničný tunel ve výstavbe na Slovensku a nachádza sa na úseku diaľnice D1 Prešov západ – Prešov juh. Trasa tunelovej časti juhovýchodného obchvatu Prešova bude tvorená dvoma nezávislými tunelovými trúbami, STR je dĺžky 2230,5 m a JTR dĺžky 2244,0 m.

Do konce roku 2019 byly kompletně dokončeny ražby na tunelu

### Čebrať tunel

The 3.68km long, double tube Čebrať tunnel will be also part of the Hubová – Ivachnová section of the D1 motorway. In recent years, extensive problems were diagnosed regarding the stability of the area at the western portal of the Čebrať tunnel and on the following section of the motorway. They required extensive changes in the technical solution. They have to be assessed in the EIA process and, subsequently, they have to be approved in the meaning of the Building Code. For that reason the work on the tunnel is still suspended even at the beginning of 2020 and only the design or the geological task is being implemented.

The construction contractor is a consortium consisting of OHL ŽS, a. s. and Váhostav – SK, a. s.

### Višňové tunel

The Višňové tunnel with its length of 7.5km is to become the longest Slovak motorway tunnel. It is part of the Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala section of the D1 motorway. The tunnel location is south of the regional capital Žilina. Both Višňové tunnel tubes were broken through in August 2018, after 40 months of excavation. Concreting of the secondary lining has been finished along over 60% of the tunnel length.

The agreement on terminating the work in the Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala section was concluded between the project owner, Národná diaľničná spoločnosť (National Motorway Society) and the construction contractor, the Salini Impregilo – Dúha consortium. In mid 2019, the work on the tunnel and the adjacent motorway section was ended. At the end of January 2020, public procurement was announced for the work connected with the continuation and completion of the motorway construction, comprising even completion of the civil part of the tunnel. An independent competition will be announced for the tunnel equipment.

### Bikoš tunel

In July 2019, the construction of the limited access road R41 Prešov, northern by-pass, stage I commenced by celebratory tap on the corner stone. The 1155m long twin-tube Bikoš tunnel will also be part of the 4.3km long section of the limited access road. It will be driven full-face. Preparation work for the commencement of the tunnel excavation, which is assumed to take place in May, is still underway even at the beginning of 2020. A consortium consisting of Váhostav – SK, a.s. and TuCon, a.s. is the construction contractor. The assumed completion of the fast highway and its opening to traffic is expected in the spring 2023.

*Ing. VLADIMÍR ĎURŠA, Doprastav, a.s.  
Slovak Tunnelling Association*

### Prešov tunel

The Prešov tunnel is a motorway tunnel under construction in Slovakia. It is located in the Prešov West – Prešov South section of the D1 motorway. The route of the tunnelled part of the southwestern by-pass of Prešov will be formed by two independent tunnel tubes, the 2230.5m long NTT and 2244.0m long STT.

By the end of 2019, the Prešov tunnel excavation was completely finished. The contractor finished the excavation of drainage cleaning recesses and emergency call niches in both tunnel tubes. The excavation for an invert was also finished and the concrete invert was carried out in both tunnel tubes by 17<sup>th</sup> December 2019.

By the end of 2019 and the beginning of January 2020, the work on the secondary lining progressed approximately to the middle. Currently, concreting of ninety 12m long blocks of the total number of 190 has been finished in the northern tunnel tube. In addition, concreting the upper vault was finished in one of the two emergency lay-bys in this tunnel tube. In the southern tunnel tube, concreting of 79 blocks of the upper vault of the total number of 190 has been finished. Currently the work operations proceed on concreting of the



Prešov. Zhotoviteľ dokončil ražbu výklenkú pro čišťení drenáží a SOS výklenkú v obou tunelových troubách. Rovněž byla dokončena ražba spodní klenby a do 17. 12. 2019 byla v obou tunelových troubách provedena betonová protiklenba.

Práce na sekundárním ostění do konce roku 2019 a na začátku ledna roku 2020 pokročily do zhruba poloviny. V současné době je zabetonováno v severní tunelové troubě 90 bloků délky 12 m z celkového počtu 190 bloků. Rovněž byla dokončena betonáž horní klenby v jednom ze dvou nouzových zářívů v této tunelové troubě. V jižní tunelové troubě je aktuálně zabetonováno 79 bloků horní klenby z celkového počtu 190 bloků. V současné době probíhají práce na betonáži prvního nouzového zářívů, kde byl bednicí vůz standardního profilu doplněn o nadstavbu. Následně bude bednění pro betonáž nouzového zářívů přesunuto do severní tunelové trouby, kde bude znovu nasazeno do druhého nouzového zářívů.

Betonářské práce na základových pasech a drenážním odvodnění tunelu se chýlí ke konci. V obou tunelových troubách zbývá dokončit celkem 90 ks bloků z celkového počtu 380.

V únoru 2020 budou rovněž zahájeny práce na pokládce šterbino-vých žlabů a obrubníků vozovky v souběhu s betonážemi kabelovodů v chodnicích.

Celou stavbu jihozápadního obchvatu Prešova realizuje Sdružení 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.

*Ing. JIŘÍ BŘICHŇÁČ, Metrostav a.s.*

## TUNELY NA ŽELEZNIČNEJ SIETI

### Tunel Diel

Tunel Diel prechádza masívom vrchu Diel, ktorý tvorí centrálnu časť meandru rieky Váh v oblasti Nosickej priehrady. Tunel je navrhnutý dĺžky 1082 m. Rázanie tunela prebiehalo v masíve popod kúpele Nimnica. Západný portál je situovaný na okraji obce Nimnica, východný portál sa buduje v území lesa nad cestou druhej triedy II/507, ktorá vedie z Púchova do Považskej Bystrice po pravom brehu priehrady. Tunel Diel má prerazenú únikovú štôľňu, ktorá ústí do priestoru východného portálu tunela.



*Obr. 5 Suchovod tunelu Diel  
Fig. 5 Dry fire main in the Diel tunnel*

first emergency lay-by, where the standard travelling formwork was complemented by a superstructure. Subsequently, the formwork for concreting the emergency lay-by will be transferred to the northern tunnel tube, where it will be again used for the second emergency lay-by.

Concrete casting work on strip footings and tunnel drainage is nearing completion. 90 blocks of the total number of 380 remain to be finished in both tunnel tubes.

In February 2020, the work will be also started on laying slotted drains and roadway curbs, concurrently with concreting of cableways in the walkways.

The whole construction of the southwestern by-pass of Prešov is being carried out by the Consortium D1 Prešov (EUROVIA SK a.s., EUROVIA CS a.s., Doprastav a.s., Metrostav a.s., Metrostav Slovakia a.s.); the Prešov tunnel is being carried out by Metrostav a.s.

*Ing. JIŘÍ BŘICHŇÁČ, Metrostav a.s.*

## TUNNELS ON RAILWAY NETWORK

### Diel tunnel

The Diel railway tunnel runs through the Diel hill massif, which forms the central part of the Váh River meander in the area of the Nosice dam. The tunnel design length amounts to 1082 metres. The tunnel is being driven through the massif under the Nimnica spa. The western portal is located on the outskirts of the municipality of Nimnica; the eastern portal is being constructed in the area above the II/507 secondary road leading from Púchov to Považská Bystrica along the right bank of the reservoir. The Diel tunnel escape gallery has been broken through. It has its exit in the area of the eastern portal of the tunnel.

The construction of the Diel tunnel is slowly nearing completion. The work on the secondary lining of the tunnel tube was finished before Christmas 2019. Currently, the work proceeds at the tunnel bottom; cableways with cable shafts are being carried out on the sides. At the beginning of January 2020, laying of dry fire mains started (see Fig. 5) and the work on the walkway surface commenced. Brackets for the installation of power catenaries will be mounted to the tunnel vault before the construction of the trackwork.



*Obr. 6 Betonáž sekundárneho ostenia únikovej štôľne Diel  
Fig. 6 Concreting the secondary lining in the escape gallery of the Diel tunnel*

Stavba tunela Diel sa pomaly chýli ku koncu. Pred Vianocami v r. 2019 boli ukončené práce na sekundárnom ostení tunelovej rúry. V súčasnosti prebiehajú práce v dne tunela; po stranách sa zhotovujú káblové trasy s káblovými šachtami. Začiatkom januára 2020 sa začal klásť suchovod (obr. 5) a započali sa aj práce na povrchovej vrstve chodníkov. Pred zhotovením železničného zvršku sa budú v klenbe tunela upevňovať konzoly na uchytenie trakčného vedenia.

V únikovej štôlni (obr. 6) prebiehajú práce na sekundárnom ostení a robí sa príprava na priečky a požiarne dvere.

Na západnom portáli tunela sa zhotovuje spätný zásyp hĺbenej časti z vystuženej zeminy s vegetačným lícom. Pilótové steny sa obkladajú gabiónovými blokmi (obr. 7). Na východnom portáli prebehla hydroizolácia hĺbenej časti tunela a pripravujú sa práce konečných terénnych úprav.

Koncom septembra tohto roku by tunelom mal prejsť prvý vlak.

### Tunel Milochovo

Na preklenutie úpätia vrchu Stavná, južne od miestnej časti Horný Milochovo mesta Považská Bystrica, je navrhnutý nový tunel Milochovo. Projektovaná dĺžka tunela je 1861 m. Tunel bude mať jednu únikovú štôľňu, ktorá bude vyúsťovať v obci Horný Milochovo.

Raziace práce zo západného portálu sú ukončené. Vyrazených je 115 m v kalote a na celý profil tunela 105 m.

Razenie z východného portálu pokračuje prácami v dvoch úrovniach, v kalote a stupni s dnom tak, aby sa od seba nevzdialili na predpísanú vzdialenosť určenú projektom pre každú vystrojovaciu triedu. Ku dnešnému dňu (22. 1. 2020) bolo v kalote vyrazených 1169 m a v stupni, resp. dne 998 m. Raziace práce konečne prebiehajú v kvalitnejšom horninovom prostredí, charakterizovanom vystrojovacou triedou II a dĺžkou záberov cez 2 m. Na čelbe sú zastúpené zdravé ílovce a občasne sa vyskytujú prítoky puklinovej vody. Prerážka tunela je odhadovaná na júl tohto roka.

In the escape gallery (see Fig. 6), work operations on the secondary lining and preparation for division walls and fire-check doors are underway.

At the western portal of the tunnel, the cut-and-cover section is being backfilled by reinforced earth with a vegetation face. Pile walls are being clad with gabion blocks (see Fig. 7). At the eastern portal, installation of waterproofing of the cut-and-cover part of the tunnel is underway and the work on final ground shaping is under preparation.

The first train should pass through the tunnel at the end of September 2020.

### Milochov tunnel

The new Milochov tunnel is designed for overcoming the bottom of Stavná hill south of the municipal district of Horný Milochovo of the town of Považská Bystrica. The tunnel length design amounts to 1861 metres. The tunnel will have one escape gallery ending in the municipality of Horný Milochovo.

The tunnel excavation from the western portal has been finished. The length of 115m of excavation at the top heading and 105m of the full-face excavation has been finished.

The excavation from the eastern portal continues by working at two levels, at the top heading and the bench, with the aim of maintaining the distance between the faces not exceeding the length prescribed by the design for each excavation support class. As of this day (22<sup>nd</sup> January 2020), 1169m and 998m of the top heading and bench excavation, respectively, has been finished. The excavation operations finally are passing through better quality ground environment characterised by excavation support class II and excavation round length over 2m.

Fresh claystone is represented at the excavation face and fissure water inflows occur at the heading. The excavation of the exploratory gallery commenced from the tunnel interior (see Fig. 8). The excavation proceeds through ground excavation support class II.



Obr. 7 Realizácia konečných terénnych úprav západného portálu Diel  
Fig. 7 Final ground shaping at the western portal of the Diel tunnel



Obr. 8 Razenie únikovej štôľne tunelu Milochovo  
Fig. 8 Excavation of the escape gallery of the Milochovo tunnel

Z vnútra tunela sa začala raziť úniková štôlna (obr. 8). Práce prebiehajú vo vstrojovacej triede II a k dnešnému dňu je vyrazených 64 m z celkovej dĺžky 266,4 m.

Na východnom portáli tunela sa pripravuje započatie prác na hlbenej časti, ktorá sa skladá zo siedmich 10 m blokov.

Celú stavbu realizuje združenie Nimnica zložené zo spoločností Doprastav – TSS Grade – SUBTERRA – EŽ Praha. Tunel Diel realizuje spoločnosť TUBAU, a.s. a tunel Milochov spoločnosť Subterra a.s. Generálnym projektantom pre investora Železnice Slovenskej republiky je spoločnosť REMING CONSULT a.s.

*Ing. JÁN KUŠNÍR, REMING CONSULT a.s.*

As of this day, 64m of the total length of the excavation have been finished.

At the eastern portal of the tunnel, the commencement of the work on the cut-and-cover section is under preparation. It consists of seven 10m long blocks.

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

*Ing. JÁN KUŠNÍR, REMING CONSULT a.s.*

## Z HISTORIE PODZEMNÍCH STAVEB FROM THE HISTORY OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

### POHLEDNICE S TUNELY NA MITTENWALDSKÉ DRÁZE V RAKOUSKU PICTURE POSTCARDS WITH TUNNELS ON MITTENWALD RAIL LINE IN AUSTRIA

The Mittenwald railway (Mittenwaldbahn), sometime denoted as the Karwendel railway (Karwendelbahn), is a single-track, electrified, mountainous character railway line leading in the Austrian and German Alps. It links Innsbruck via Seefeld in Tyrol (A) with Mittenwald and Garmisch-Partenkirchen in Bavaria (D). The railway route with the total length of 56.116km (33.160km in Austria) and maximum gradient of 38‰ was constructed in 1910–1912 as a local electric train by engineers and civil engineering contractors Josef Riehl and Wilhelm Carl von Doderer, by a joint-stock company founded by themselves. The railway line was officially commissioned on 26<sup>th</sup> October 1912 and transportation for the public was started by the state railway companies of Austria and Germany two days later. The railway operated one of the first electric trains supplied with high-tension, single-phase alternate current. This system had later a fundamental impact on standards of electrified railways in the whole Central Europe. There are 16 tunnels and three galleries on the line in total. The aggregate length of the tunnels amounts to 4410.71m. The longest of them is the Martinswand tunnel (1810.23m), the shortest one is the Hechenberg tunnel (26.02m). The galleries are 309m long in total; among them, the 228m long Martinswand gallery dominates.

Mittenwaldská dráha (Mittenwaldbahn), někdy nazývaná také Karwendelská (Karwendelbahn), je jednokolejná, elektrifikovaná železniční trať horského charakteru, vedená v rakouských a německých Alpách. Spojuje Innsbruck přes Seefeld v Tyrolsku (A) s Mittenwaldem a Garmisch-Partenkirchenem v Bavorsku (D).

Železnice celkové délky 56,116 km (z toho v Rakousku 33,160 km) a max. sklonu 38 ‰ byla postavena v letech 1910 až 1912 inženýry a dodavateli staveb Josefem Riehlem a Wilhelmem Carlem von Dodererem jako elektrický místní vlak, jimi založenou akciovou společností. Tak krátká doba stavby je z dnešního pohledu, a to nejen s přihlédnutím k velmi náročné morfologii a geologii území, v pravém slova smyslu podivuhodná!

Trať byla oficiálně otevřena 26. 10. 1912 a doprava pro veřejnost byla státními železnicemi Rakouska a Bavorska zahájena o dva dny později. Dráha provozovala vůbec jedny z prvních elektrických vlaků napájených vysokonapětovým jednofázovým střídavým prou-



**Obr. 1** Mittenwaldská dráha. Pohled na údolí Innu. Huber – Postkarte Nr 692. 1940. [sbírka autorů]

Na pohlednici vjíždí vlak do západního portálu tunelu „Na stěně II“ (dl. 202 m). Vpravo a hluboko dole se v širokém údolí řeky Inn rozkládá Obec Patscherkofel.

**Fig. 1** Mittenwald railway track. A view of the Inn valley. Huber – Postkarte Nr 692. 1940. [authors' collection]  
In the picture postcard, a train enters the western portal of the "On the wall II" tunnel (202m long). The municipality of Patscherkofel lies on the right side, deep down in the wide valley of the Inn River.

dem. Tento způsob měl posléze zásadní dopad na standardy elektrifikovaných železnic v celé střední Evropě.

Na trati se nachází celkem 16 tunelů a 3 galerie. Tunely mají celkovou délku 4 410,71 m. Nejdelší z nich je tunel Martinswand (1 810,23 m), nejkratší potom tunel Hechenberg (26,02 m). Galerie mají celkovou délku 309 m; zde dominuje, stejně jako u tunelů, galerie Martinswand dl. 228 m. [1, 2]



**Obr. 2 Mittenwaldská dráha. Pohled na viadukt Vorberg, Hochzirl, Zirl, údolí Innu, Kalkkögel (Stubaiské Alpy). Alpiner Kunstverlag Hans Huber, München 12. Cca 1935. [sbírka autorů]**

Vlevo v dálce, pod objekty krajské nemocnice v Hochzirlu, je západní portál tunelu Vorberg I (dl. 147,77 m). Kalkkögel je horský řetězec náležející do Stubaiských Alp, s nejvyšší horou Schlicker Seespitze (2 804 m n. m.).

**Fig. 2 Mittenwald railway track. A view of the Vorberg viaduct, Hochzirl, Zirl, the Inn valley, Kalkkögel (the Stubai Alps). Alpiner Kunstverlag Hans Huber, München 12. About 1935. [authors' collection]**

The western portal of the Vorberg I tunnel (147.77m long) is on the left side, in the distance, under buildings of the regional hospital in Hochzirl. The Kalkkögel is a mountain range belonging to the Stubai Alps, with the highest mountain Schlicker Seespitze (2804m a. s. l.).



**Obr. 4 Mittenwaldská dráha: Tunel Vorberg č. 3 se skupinou Kalkkögel, 2 703 m n. m. Nr. 323 D. T. Monopol Kunst- und Verlagsanstalt, München. Okolo 1920. [sbírka autorů]**

Na pohlednici je severní portál tunelu Vorberg III (dl. 46,82 m) fotografovaný z viaduktu Vorberg. Kalkkögel – viz obr. 2.

**Fig. 4 Mittenwald railway track. Vorbergtunnel No. 3 with the Kalkkögel Group, 2703m a. s. l. No. 323 D. T. Monopol Kunst- und Verlagsanstalt, München. About 1920. [authors' collection]**

In the picture postcard, there is the northern portal of the Vorberg III tunnel (46.82m long) photographed from the Vorberg viaduct. Kalkkögel – see Fig. 2.

S některými pohlednicemi prezentujícími tunely železniční trati Mittenwaldbahn byli čtenáři časopisu TUNEL již seznámeni. V č. 4/2014 to byl nejdelší z tunelů Martinswand, v č. 1/2016 tunel Vorberg č. IV, v č. 1/2016 tunely „Na stěně 1 a 2“ a konečně v č. 3/2018 tunel Schloßbach. V tomto dílu seriálu jde pak o dalších 8 pohlednic – viz obr. 1 až 8.



**Obr. 3 Mittenwaldská dráha. Viadukt Vorberg s tunely I a II proti údolí Innu a ledovci v údolí Zilleru. Kolorovaná fotografie. Purger & Co., München. Photochromiekarte Nr. 12618. Cca 1910. [sbírka autorů]**

Na pohlednici se, v rozporu s popisem, ve skutečnosti nacházejí severní portály tunelů Vorberg III (dl. 46,82 m – uprostřed snímku, ústící na viadukt) a Vorberg II (dl. 97,65 m – vpravo).

**Fig. 3 Mittenwald railway track. The Vorberg viaduct with tunnels I and II opposite the Inn valley and a glacier in the Ziller valley. Coloured photo. Purger & Co., München. Photochromiekarte Nr. 12618. About 1910. [authors' collection]**

Contrary to the description, there are northern portals of the Vorberg III tunnel (46.82m long) in the centre of the picture, leading to the viaduct, and the Vorberg II tunnel (97.65m – for the right).

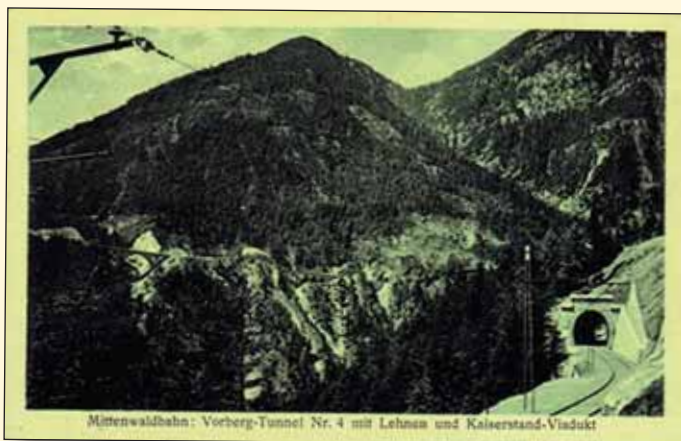


**Obr. 5 5253 Mittenwaldská dráha. Viadukt Vorberg (šířky oblouku 22 m, s výškou nad údolím 30 m). Alpiner Kunstverlag Wilhelm Stempfle, Innsbruck. 1941. [sbírka autorů]**

Vlaková souprava vyjíždí ze severního portálu krátkého tunelu Vorberg III (dl. 46,82 m).

**Fig. 5 5253 Mittenwald railway track. The Vorberg viaduct (viaduct span 22m, height of 30m above the valley). Alpiner Kunstverlag Wilhelm Stempfle, Innsbruck. 1941. [authors' collection]**

A train exiting from the northern portal of the short Vorberg III tunnel (46.82m long).



Obr. 6 Mittenwaldská dráha. Tunel Vorberg č. 4 s viadukty Lehen a Kaiserstand. Nr. 321. D. T. Monopol Kunst- und Verlagsanstalt, München. Okolo 1920. [sbírka autorů]

Na pohlednici vlevo je nad zříceninou Fragensteinu (s jedinou vinicí v severním Tyrolsku) betonový viadukt Kaiserstand délky 46,8 m (vlevo) a viadukt Lehen délky 28 m (vpravo). Přibližně ve středu obrázku je jižní portál tunelu Fragenstein (dl. 394,62 m). Vpravo dole vchází železnice do jižního portálu tunelu Vorberg IV (dl. 43,62 m).

Fig. 6 Mittenwalds railway track The Vorberg No. 4 tunnel with the Lehen and Kaiserstand viaducts. NO. 321. D. T. Monopol Kunst- und Verlagsanstalt, München. About 1920. [authors' collection]

The 46.8m long Kaiserstand concrete viaduct spanning above the ruins of Fragenstein castle (with the only vineyard in North Tyrol) is in the picture postcard pictured left; the 28m long Lehen viaduct is pictured right. The southern portal of the Fragenstein tunnel (394.62m long) is approximately in the centre of the picture. In the right bottom corner, the railway track enters the southern portal of the Vorberg IV tunnel (43.62m long).



Obr. 8 Mittenwaldská dráha. Kaiserstand-tunel s Erlspitze (2 407 m). Kolorovaná fotografie. Purger & co. München. Photochromiekarte Nr. 12620. Cca 1910. [sbírka autorů]

Na Mittenwaldské dráze se žádný takto pojmenovaný tunel nenachází. S nejvyšší pravděpodobností je na této pohlednici vyobrazený jižní portál tunelu Schloßbach (dl. 721,52 m). Erlspitze je nejvyšší horou stejnojmenného pohorí v jihovýchodním cípu Karwendelských Alp.

Fig. 8 Mittenwald railway track. Kaiserstand-tunnel with Erlspitze (2407 m). Coloured photo. Purger & co. München. Photochromiekarte No. 12620. Ca 1910. [authors' collection]

There is no tunnel of this name on the Mittenwald railway track. Most likely the southern portal of the Schloßbach tunnel (721.52m long) is shown in the picture. Erlspitze is the highest mountain of the mountain range of the same name in the south-eastern tip of the Karwendel Alps.



Obr. 7 235 Mittenwaldská dráha – Kalkkögel. Verlag B. Johannes (Beckert), Partenkirchen-Garmisch. Okolo 1930. [sbírka autorů]

Jedná se patrně o výhled z jižního portálu tunelu Vorberg III (dl. 46,82 m) nebo tunelu Vorberg IV (dl. 43,62 m) na Kalkkögel – horský řetězec náležející do Stubaiských Alp.

Fig. 7 235 Mittenwald railway track – Kalkkögel. Verlag B. Johannes (Beckert), Partenkirchen-Garmisch. About 1930. [authors' collection]

It is probably the Kalkkögel mountain range belonging to the Stubai Alps viewed from the southern portal of the Vorberg III tunnel (46.82m long) or the Vorberg IV tunnel (43.62m long).

**Poděkování:** Článek byl vytvořen v rámci řešení projektu č. LO1408 „AdMaS UP – Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie“ podporovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu „Národní program udržitelnosti I“ a projektu č. TE01020168 „Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI)“ podporovaného z programu Centra kompetence Technologické agentury České republiky (TAČR).

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

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] Eisenbahn-Tunnel in Österreich [online]. [cit. 2020-01-22]. Dostupné na internetu <<http://www.eisenbahntunnel.at>>  
[2] Mittenwald Railway [online]. 2016 cit. 2020-01-22]. Dostupné na internetu <[https://en.wikipedia.org/wiki/Mittenwald\\_Railway](https://en.wikipedia.org/wiki/Mittenwald_Railway)>

## VÝROČÍ ANNIVERSARIES

**BLAHOŽELANIE ING. JURAJOVI KELEŠIMU K OSEMDESIATINÁM  
CONGRATULATIONS TO ING. JURAJ KELEŠI'S EIGHTIETH ANNIVERSARY OF BIRTH**

V januári tohto roku sme si pripomenuli osemdesiate narodeniny nášho dlhoročného spolupracovníka a priateľa, zakladajúceho člena a prvého predsedu Slovenskej tunelárskej asociácie, Ing. Juraja Kelešiho. Našu radosť znásobuje aj to, že sa jubilant dožil úctyhodného veku v závideniahodnej telesnej i duševnej pohode.

Juraj Keleši sa narodil dňa 12. januára 1940 v Bratislave. Po maturite na priemyselnej škole stavebnej pokračoval v rokoch 1959–1964 v štúdiu na Stavebnej fakulte Slovenskej vysokej školy technickej, v odbore Konštrukcie a dopravné stavby. Po úspešnom absolvovaní štúdia nastúpil do vtedajšieho národného podniku Doprastav Bratislava, v ktorom prežil takmer celé nasledujúce štyri dekády pracovného života.

Šesťdesiate roky boli obdobím prípravy výstavby prvých československých a slovenských diaľnic. Juraj Keleši pracoval v riadiacich funkciách na stavbe prvej slovenskej diaľnice D2 v úseku Bratislava – Malacky. Neskôr, v sedemdesiatych rokoch, pracoval na odbore technického vývoja podniku a od roku 1979 ako technický námestník zvolenského závodu Doprastavu. V tomto období sa zúčastnil výstavby viacerých veľkých stavieb, napríklad výstavby zvolenského dopravného uzla a železničnej prípojky pre jadrovú elektrárňu Mochovce. S tunelárstvom začal byť jeho profesionálny život spojený v období po roku 1984. Vtedy pôsobil na Ministerstve stavebníctva SR a okrem výstavby sústavy vodných diel Gabčíkovo – Nagymaros sa venoval aj príprave bratislavskej rýchlodráhy. V roku 1988 sa vrátil na Doprastav, kde od roku 1989 pracoval v pozícii námestníka pre výstavbu rýchlodráhy. Ambiciózny projekt podzemného nosného dopravného systému bol ale v porevolučnom období pre nemožnosť jeho financovania zastavený, a tak Juraj Keleši začal po roku 1993 pracovať ako vedúci marketingu. V roku 1997 prešiel na odbor prípravy a výstavby tunelových stavieb, kde sa okrem iného venoval veľmi zaujímavým projektom – razeniu prieskumnej štôlne pre diaľničný tunel Višňové a rekonštrukcii Telgártskeho železničného tunela, jediného slučkového tunela na slovenských železničniciach.

Okrem pracovných aktivít boli dôležitou súčasťou jeho profesionálneho života aj činnosti pri budovaní platformy pre odbornú tunelársku komunitu. Po vzniku Slovenskej tunelárskej asociácie v roku 1993 sa ako spoluzakladateľ stal jej prvým predsedom a túto funkciu vykonával dve volebné obdobia až do roku 1999. V roku 2008 mu bol udelený titul čestného člena Slovenskej tunelárskej asociácie.

Celoživotnou láskou Juraja Kelešiho boli vodné športy, a to najmä v spojení s veľriekou Dunaj. Po odchode do dôchodku k svojim športovým záľubám pridal aj vodu s veľmi nízkou teplotou a odvtedy, už viac ako 15 rokov, je členom bratislavského klubu otužilcov s príznačným menom Ľadové medvede. Plavby v ľadových dunajských vodách sú aktivitou, na ktorú mnohí vzhľadom s veľkým rešpektom a ktorá určite nemalým dielom prispieva k jeho výbornej fyzickej i psychickej kondícii.



In January this year we commemorated the eightieth birthday of our long-standing workmate and friend, a founding member and first chairman of the Slovak Tunnelling Association, Ing. Juraj Keleši. Our joy is multiplied even by the fact that the jubilarian has lived a respectable age in enviable physical and mental well-being.

Juraj Keleši was born on 12<sup>th</sup> January 1940 in Bratislava. After passing the school leaving exam at the Technical School of Civil Engineering he continued in 1959–1964 to study at the Slovak Technical University in Bratislava, obtaining a degree in civil engineering and transport-related structures. After successful completion of studies he entered Doprastav Bratislava, at that time a national enterprise, where he spent nearly complete following decades of his working life.

The 1960s were the period of preparation of the development of first Czechoslovak and Slovak motorways. Juraj Keleši worked in managerial positions on the construction of the first Slovak motorway, D2, in the Bratislava – Malacky section. Later, in the 1970s, he worked in the technical development department of the enterprise and, from 1979, in the position of the deputy of the Chief Technical Officer of Zvolen plant of Doprastav. In this period, he participated in several large projects, for example, construction of the Zvolen railway node and the railway link for the Mochovce nuclear power plant. His personal life started to be connected with the tunnel construction industry in the period after 1984. At that time he worked at the Ministry of Construction of the SR and, apart from the development of the Gabčíkovo – Nagymaros Waterworks, he dedicated himself to preparation of the Bratislava rapid transit system. In 1988 he returned to Doprastav, where he worked in the position of Deputy Director for the construction of the rapid transit system. But the ambitious project for the principal underground transit system was suspended during the post-revolution period because of the impossibility of its funding. So, after 1993, Juraj Keleši started to work in the position of a chief of marketing. In 1997, he transferred to the Department of Preparation and Development of tunnel construction projects, where he dedicated himself, among others, to very interesting projects – the excavation of the exploratory gallery for the Višňové motorway tunnel and reconstruction of the Telgart railway tunnel, which was the only loop-type tunnel on Slovak railway tracks.

Apart from working activities, developing the platform for the professional tunnel construction public was also an important part of his professional life. After the origination of the Slovak Tunnelling Association in 1993, he as a co-founder he became its first chairman and he performed this function for two terms until 1999. In 2008, he was awarded the title of a honorary member of the Slovak Tunnelling Association.

Water sports were the lifelong love of Juraj Keleši, first of all sports connected with the Danube River. After retiring, he added very low temperature water to his hobbies and, since that time, he has been a member of the Bratislava hardy club with a peculiar name Polar Bears. Swimming in the Danube ice water is an activity which is viewed by many people with great respect and which contributes no small part to his excellent physical and psychical condition.

V mene výboru a členskej základne Slovenskej tunelárskej asociácie želám Jurajovi Kelešimu do ďalšieho životného obdobia všetko najlepšie, najmä veľa zdravia, životného elánu a pohody v kruhu rodiny i priateľov.

*Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ*

I wish Juraj Keleši on behalf of the Board and members of the Slovak Tunnelling Association all the best to the next period of life, first of all great health, life enthusiasm and contentment within the circle of his family and friends.

*Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ*

## **TŘI ČTVRTĚ STOLETÍ DOC. ING. ALEXANDRA ROZSYPALA, CSc.** **THREE QUARTERS OF A CENTURY OF DOC. ING. ALEXANDR ROZSYPAL, CSc.**

V březnu slaví své 75. narozeniny geotechnik, vizionář, tunelář, franokofil, milovník dobrého vína, poezie a obrazů doc. Ing. Alexandr Rozsypal, CSc.

Jeho bohaté profesní kariéře se věnoval v čísle 1/2015 časopisu Tunel podrobný medailon z pera oslavenceva dlouholetého kamaráda a geotechnického souputníka profesním životem Ing. Vítězslava Herleho.

Doporučuji všem si ho přečíst.

A protože lze těžko napsat ten dnešní lépe a výstižněji, dovlím si na něj pouze navázat.

Alexandr Rozsypal, vytrvalý zastávce a popularizátor geotechniky jako odborné disciplíny, neúnavně pokračuje ve své publikační, přednáškové, pedagogické a konzultační činnosti.

Za zmínku určitě stojí, že zorganizoval zajímavý doprovodný kurz „Členění nejistotám při přípravě a realizaci tunelových staveb“, který proběhl v rámci konference Podzemní stavby Praha 2019. Je také spoluautorem rodící se nové verze TP 76 Ministerstva dopravy „Geotechnický průzkum pro pozemní komunikace“ a nově vydané publikace ČVUT v Praze „Minimalizace rizik při výstavbě tunelů“.

Zbylou část svého času tráví se svou paní na cestách po světě, ale nejraději jsou spolu na milované chalupě v Jizerských horách.

Do dalších let Ti přeji, Sašo, i za celou tunelářskou komunitu, mnoho zdaru, trpělivosti a nových geotechnických nápadů.

*TOMÁŠ EBERMANN, člen redakční rady*



In March, doc. Ing. Alexandr Rozsypal, CSc., a geotechnician, visionary, tunneller, Francophile, lover of good wine, poetry and paintings, will celebrate the 75<sup>th</sup> birthday.

A detailed profile written by Ing. Vítězslav Herle, the birthday boy's long-standing friend and geotechnical fellow-traveller through his professional life, was dedicated to his rich professional career in issue No. 1/2015 of TUNEL journal.

I recommend everyone to read it

And because it is difficult to describe the today's profile better and more aptly, I will allow myself only to build on it.

Alexandr Rozsypal, a staunch supporter and populariser of geotechnical engineering as a professional discipline, continues tirelessly in his publication, lecturing, teaching and consulting activities.

It is certainly worth mentioning that he organised an interesting accompanying course „Facing uncertainties in the preparation and construction of tunnel structures“, which took place within the framework of the conference Underground Construction Prague 2019. He is, in addition, the co-author of the emerging new version of the technical specification TP 76 of the Ministry of Transport “Geotechnical investigation for roads” and a newly issued publication of the Czech Technical University in Prague “Minimisation of risks at tunnel construction“.

He spends the remaining part of his time with his wife on trips around the world, but first of all, they are together at their beloved cottage in the Jizera Mountains.

I wish you, Saša, also on behalf of the whole tunnel construction community, much success, patience and new geotechnical ideas in the coming years.

*TOMÁŠ EBERMANN, member of Editorial Board*

## **ROZLOUČENÍ LAST FAREWELL**

### **VZPOMÍNKA NA ING. MIROSLAVA KOLEČKÁŘE** **MEMORY OF ING. MIROSLAV KOLEČKÁŘ**

Koncem loňského roku, těsně před Vánocemi, přišla smutná zpráva, navždy nás opustil člen naší velké tunelářské rodiny, známý pražský tunelář Ing. Miroslav Kolečkář. Zemřel v neděli 15. 12. 2019 ve věku 83 let po dlouhé těžké nemoci.

Narodil se v Konici na Moravě v roce 1936. V roce 1959 dokončil studia na Vojenské technické akademii v Brně – obor stavební.

Během své životní dráhy pracoval v oblasti podzemních staveb, statiky a zakládání staveb.

V roce 1959 nastoupil do Vojenského projektového ústavu v Praze (VPÚ), kde se stal hlavním specialistou ústavu pro podzemní stavby. Pracoval na projektech pražského metra a zmínit je třeba



The sad report arrived late last year, just before Christmas, that a member of our large tunnelling family, Ing. Miroslav Kolečkář, a renowned Prague tunnel construction engineer, left us forever. He died on Sunday the 15<sup>th</sup> December 2019 at the age of 83 after a long serious illness.

He was born in Konica, Moravia, in 1936. In 1959 he completed his studies at the Military Technical Academy in Brno, majoring in civil engineering. During his career, he worked in the field of underground construction, statics and foundation engineering.

In 1959, he entered Vojenský Projektový Ústav (a military designing institute), where he became the main specialist of the department of underground construction. He worked on designs for Prague Metro, and in addition, it is necessary to mention the original solution to the subway under Wenceslas Square using prestressed column heads and underpinning of surrounding buildings. At that time he in addition participated in a new solution to cross-passage parts of mined metro stations saving consumption of expensive cast iron.

také originální řešení podchodu na Václavském náměstí s použitím předpjatých hlavic a s podchycením okolních budov. Podílel se též v té době na novém řešení prostupových částí ražených stanic metra šetřících spotřebu drahé litiny.

Sledování deformací nadložní zástavby při ražbách tunelů se stalo jeho celoživotní specializací. Publikoval o tomto problému řadu článků.

V roce 1979, v době normalizace, kdy se ve VPÚ projektovaly velké protiatomové úkryty, se stal pro tehdejší režim politicky nespolehlivý a musel ústav opustit.

V témže roce nastoupil do Metrostavu Praha, kde pracoval jako vedoucí odboru předvýrobní přípravy a projekce. Se svými kolegy zavedl unifikaci ražených a hloubených stanic.

V letech 1991–1995 působil ve funkci hlavního inženýra výstavby Strahovského tunelu. V roce 1994 se stal autorizovaným inženýrem. Trvale udržoval styk s katedrou geotechniky a zakládání ČVÚT Praha a řadu let byl členem zkušebních komisí.

Třetí etapu svého profesního života zahájil v roce 1998 v investorské firmě VIS, a.s. Jeho specializací bylo řízení monitoringu podzemních staveb s uplatňováním observační metody a sdíleného rizika investora se zhotovitelem, které přineslo milionové úspory.

Koncepce monitoringu tunelu Mrázovka, na které spolupracoval, se stala základem pro monitorování dalších tunelových staveb v ČR.

O výsledcích monitoringu tunelu Mrázovka přednášel na světovém kongresu v Sydney v roce 2002.

Já jsem měl to osobní štěstí, že Mirek byl mým prvním šéfem v zaměstnání. Mirek byl přísný, ale uznalý šéf, od kterého jsem se však hodně naučil. Dával nám velký prostor pro samostatné myšlení a rozhodování. Dovedl poradit i v osobním životě.

Mirek celý svůj život zůstal věrný své ženě Dagmar, se kterou měli dceru a syna. Těšil se také ze tří vnoučat.

V soukromém životě byl Mirek člověk s velkým elánem se zájmem o kulturu, politiku a sport, zvláště pak basketbal, který hrál i závodně.

V kuloárech tunelářských konferencí bylo vždy Mirka plno. Kladl přednášejícím dotazy a o přestávkách byl schopný s každým pohovořit. Někomu něco vytknul, někoho pochválil a někomu zadal nějaký úkol. Takový prostě byl náš „Kolda“

Mirku, bude nám teď moc chybět Tvoje vitalita, optimismus i Tvoje zkušenosti. Věřím, že nyní sleduješ z tunelářského nebe, jak pokračuje příprava staveb Městského okruhu a trasy metra D, o které jsi se do svých posledních chvil tak zajímal.

Mirku! Čest Tvé památce!

*Ing. JAROSLAV NĚMEČEK*

Monitoring of deformations of above-ground buildings during tunnel excavation became his life-long specialisation. He published a number of papers on this issue.

In 1979, at the time of normalisation, when large fallout shelters were designed in Vojenský Projektový Ústav, he became politically unreliable and had to leave the institute.

In the same year he joined Metrostav Praha, where he worked in the position of chief of the Construction Pre-planning and Designing Department. Together with his colleagues he introduced the unification of mined and cut-and-cover station tunnels.

In 1991–1995, he worked in the position of chief engineer for the construction of the Strahov tunnel. In 1994 he became an authorised engineer. He permanently maintained contacts with the Department of Geotechnical and Foundation Engineering of the Czech Technical University in Prague and was a member of examination committees for many years.

He started the third stage of his professional life in 1998 in VIS, a. s., an investment company. His specialisation lied in managing monitoring of underground structures applying an observational method combined with sharing client and contractor risks. The method yielded millions of savings.

The concept of monitoring of the Mrázovka tunnel, which he collaborated on, became a basis for monitoring of other tunnel construction sites in the CR.

He lectured on the results of monitoring of the Mrázovka tunnel at the World Tunnel Congress in Sydney in 2002.

I was lucky enough that Mirek was my first boss at work. Mirek was a strict but appreciative boss, from whom I learned a lot. He gave us a lot of room for independent thinking and making decisions. He could also advise in private lives.

All his life, Mirek remained faithful to Dagmar, his wife, with whom they had a daughter and a son. He also enjoyed three grandchildren.

In his private life, Mirek was a man of great enthusiasm, who was interested in culture, politics and sports, especially basketball, which he also played competitively.

Breaks of tunnelling conferences were always full of Mirek. He asked lecturers questions and at breaks was able to talk to everyone. He reproached somebody, praised somebody and even could assign someone a task. That was just our „Kolda“.

Mirek, we will much miss your vitality, optimism and your experience. I believe that you are now following us from the tunnelling heaven, viewing how the preparation of the City Circle Road and Metro D Line construction lots, which you were so interested in until your last moments, proceeds.

Mirek! I honour your memory!

*Ing. JAROSLAV NĚMEČEK*

## ZPRAVODAJSTVÍ ČESKÉ A SLOVENSKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE ITA-AITES CZECH AND SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES REPORTS

[www.ita-aites.cz](http://www.ita-aites.cz)

## VALNÉ ZHROMAŽDENIE SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE GENERAL ASSEMBLY OF SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION

The regular General Assembly of the Slovak Tunnelling Association took place on 24<sup>th</sup> October 2019. At the beginning of the General Assembly negotiations, the present commemorated by a minute of silence the memory of deceased teacher doc. Koloman Ratkovský, a co-founder and honourable member of the STA.

The STA Committee submitted a proposal for awarding Ing. Štefan Choma and Ing. Pavol Kusý the title of an Honourable Member as long-standing functionaries of the Association. The Activity Report was presented by Ing. Miloslav Frankovský, the Chairman of the STA. The Funding and Management Report was prepared



by Ing. Robert Turanský, a member of the Audit Committee. Ing. Viktória Chomová presented activities of the STA in the following period. In the first half of 2020, the STA Committee will deal with the idea of organising the *Tunnels and Underground Construction 2021* conference. After the end of the General Assembly negotiations, the attendees heard two very interesting professional lectures. Ing. Břichnáč from Metrostav a.s. informed about the experience from the construction of the Prešov motorway tunnel in the Prešov West – Prešov South section of the D1 motorway. Ing. Maričák from Tucon, a.s. presented the current condition of the preparation of the construction of the Bikoš tunnel on the fast highway R4 on the northern by-pass of the town of Prešov, where the beginning of tunnel excavation is expected in the spring 2021.

After the lectures, the attendees moved to the eastern portal of the Prešov tunnel, where they took a tour of both tunnel tubes and both portals.

Pravidelné valné zhromaždenie Slovenskej tunelárskej asociácie sa uskutočnilo dňa 24. októbra 2019 v krajskom meste Prešov na východnom Slovensku, v priestoroch hotela Plaza. Účastníkov v úvode okrem predsedu Ing. Miloslava Frankovského privítal aj podpredseda STA ing. František Očkaják, ako zástupca spoločnosti Doprastav a.s., ktorá poskytla valnému zhromaždeniu organizačnú podporu. O programe informovala prítomných Ing. Viktória Chomová, ktorá následne rokovanie valného zhromaždenia viedla.

V úvode valného zhromaždenia si prítomní pripomenuli minútu ticha pamiatku zosnulého pedagóga, spoluzakladateľa a čestného člena STA doc. Kolomana V. Ratkovského. Hneď v prvom bode valného zhromaždenia výbor STA predložil návrh na udelenie titulu čestného člena dlhoročným funkcionárom asociácie Ing. Štefanovi Chomovi a Ing. Pavlovi Kusému. Valné zhromaždenie tento návrh schválilo.

Správu o činnosti predniesol predseda STA Ing. Miloslav Frankovský, ktorý informoval o aktivitách za predošlé obdobie. V období od posledného VZ STA, teda od mája 2019 sa uskutočnilo 6 rokovaní výboru. Na prvom rokovaní výboru zvoleného Valným zhromaždením STA v júni 2018 bolo výborom zvolené vedenie asociácie na nasledovné obdobie, predseda Ing. Miloslav Frankovský, podpredseda Ing. František Očkaják a sekretár Ing. Viktória Chomová.

Kľúčovými aktivitami, na ktoré sa sústredila činnosť Výboru STA, boli:

- odborný seminár spojený s návštevou železničných tunelov Diel a Milochovo vo výstavbe;
- konferencia Podzemní stavby Praha 2019;
- vydávanie časopisu Tunel spolu s CzTA;

- účasť na príprave technických predpisov – TP099 Protipožiarna bezpečnosť cestných tunelov;
- priebežná aktualizácia webovej stránky asociácie.

Správu o financovaní a hospodárení pripravil člen revíznej komisie STA Ing. Robert Turanský. Vzhľadom na jeho neprítomnosť správu predniesol Ing. M. Frankovský, ktorý tiež informoval prítomných, že hospodárenie STA bude v roku 2019 približne vyrovnané.

Ing. Viktória Chomová prezentovala aktivity STA v nasledovnom období, pričom podrobne informovala prítomných o plánovaných aktivitách vo viacerých okruhoch, tak ako boli prediskutované na výboroch asociácie:

- podpora vzdelávania a práca s mládežou;
- spolupráca s vysokými školami;
- spolupráca s prevádzkovateľmi tunelov (NDS a ŽSR);
- publikovanie a prezentácia;
- organizácia konferencií a seminárov.

V rámci posledného bodu odznela informácia, že Výbor STA sa bude v prvej polovici roku 2020 zaoberať myšlienkou organizácie konferencie *Tunely a podzemné stavby v roku 2021*.

Posledným bodom programu bola diskusia, v ktorej vystúpilo viacero účastníkov VZ, pričom ich príspevky sa týkali nasledovných tém.

Chyby a nedostatky pri výstavbe by sa nemali skrývať, odborná verejnosť by mala byť s nimi oboznámená, najlepšie formou „Lessons learned“. Vzhľadom na citlivosť zo zmluvného pohľadu (záruky, prebiehajúce spory) je možné zvážiť možnosť prezentácie formou interných odborných seminárov.

Konferencia Tunely a podzemné stavby v roku 2021 by určite bola prínosom, je potrebné na úrovni výboru STA premyslieť jej organizáciu.

Negatívne skúsenosti s niektorými verejnými subjektmi – z pohľadu kvalifikačných predpokladov a referencií – STA by mohla aktívne vstupovať, napr. formou tvorby predpisov do formulácie kvalifikačných predpokladov.

Po ukončení rokovania Valného zhromaždenia si účastníci vypočuli dve veľmi zaujímavé odborné prednášky. Ing. Břichnáč zo spoločnosti Metrostav a.s. informoval o skúsenostiach z výstavby diaľničného tunela Prešov na úseku diaľnice D1 Prešov západ – Prešov juh. Ing. Maričák zo spoločnosti Tucon, a.s. prezentoval súčasný stav prípravy výstavby tunela Bikoš na rýchlostnej ceste R4 na severnom obvode mesta Prešov, kde sa začiatok razenia očakáva v jarných mesiacoch budúceho roku.

Po prednáškach sa účastníci presunuli na východný portál tunela Prešov, kde absolvovali prehliadku oboch tunelových rúr aj oboch portálov s pútavým výkladom ing. Břichnáča.

Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ

## OZNÁMENÍ O KONÁNÍ VALNÉHO SHROMÁŽDĚNÍ ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE ITA-AITES Z. S.

Všem členům České tunelářské asociace ITA-AITES z. s. si dovoluujeme oznámit, že její valné shromáždění se bude konat ve středu 3. června 2020. Bude to volební valné shromáždění, protože jeho součástí budou volby předsedy a členů předsednictva asociace na funkční období 2020 až 2024.

Výzva k podání návrhů na předsedu a členy předsednictva

i pozvánka na valné shromáždění včetně jeho programu bude všem členům asociace v souladu se stanovami zaslána.

Ing. MARKÉTA PRUŠKOVÁ, Ph.D.,  
pruskova@ita-aites.cz,  
generální sekretář CzTA ITA-AITES

**BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ  
UVEŘEJNĚNÝCH V TUNELU, ČASOPISU ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE  
A SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE ITA-AITES V ROCE 2019  
BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED IN THE JOURNAL TUNEL  
OF THE CZECH TUNNELING ASSOCIATION AND THE SLOVAK TUNNELING  
ASSOCIATION ITA-AITES WITHIN THE YEAR 2019**

<b>BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED</b>	Číslo Issue	Strana Page	<b>BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED</b>	Číslo Issue	Strana Page
<b>1. ÚVODNÍK EDITORIAL</b>			■ Ejpovické tunely – BIM pro nejdelší železniční tunely v ČR <i>Ejpvovice Tunnels – BIM for Longest Railway Tunnels in the CR</i> Ing. Martin Krátký, Ing. Petr Svoboda, Metrostav a.s., Divize 5		
RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D., <i>člen redakční rady časopisu Tunel</i> Ing. David Krása, <i>generální ředitel společnosti METROPROJEKT Praha a.s.</i>	1/2019	1		1/2019	82
Mgr. Filip Dudík, <i>ředitel společnosti GeoTec-GS, a.s.</i> prof. Ing. Matouš Hilar, M.Sc., Ph.D., CEng., MICE, <i>člen redakční rady časopisu Tunel</i> Jiří Bělohav, <i>prezident Skupiny Metrostav</i> Ing. Ondřej Fuchs, <i>generální ředitel Subterra a.s.</i> Ing. Jaromír Zlámal, <i>člen redakční rady časopisu Tunel</i> Mgr. Lucie Bohátková, <i>členka představenstva společnosti SG Geotechnika a.s.</i> Mgr. František Rainer, <i>vedoucí útvaru správy tunelů Ředitelství silnic a dálnic ČR</i> Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D., <i>člen redakční rady časopisu Tunel</i> Ing. Tomáš Slaviček, generální ředitel SUDOP PRAHA a.s. Ing. Roman Kocůrek, generální ředitel a 1. místopředseda představenstva OHL ŽS, a.s.	1/2019	2	■ Tunely Ejpovice – definitivní zajištění propojky č. 8 stříkaným betonem <i>Ejpvovice Tunnels – Final Excavation Support of Cross Passage No. 8 with Shotcrete</i> Václav Anděl, Ing. Petr Svoboda, Ing. Petr Hybský, Ing. Štefan Ivor, Metrostav a.s.	2/2019	4
	1/2019	3	■ Traťové tunely metra A stanice Espoonlahti, Finsko <i>Underground Railway Tunnels and Station of Espoonlahti, Finland</i> Ing. Aleš Gothard, Ing. Pavel Herman, Metrostav a.s.	2/2019	12
	2/2019	1	■ Tunel Žilina <i>Žilina Tunnel</i> Ing. Andrej Korba, Ing. Alena Hasíková, Ing. Jiří Mosler, Metrostav a.s.	2/2019	21
	2/2019	2	■ Ražba pod jezerem Mälaren – Förbifart Stockholm projekt FSE209 <i>Tunnelling under Lake Mälaren – Förbifart Stockholm Project FSE209</i> Ing. Tomáš Němeček, Subterra a.s., SBT Sverige AB	2/2019	30
	2/2019	3	■ Tunel Milochov – předpoklad projektu a skutečnost <i>Milochov Tunnel – Design Assumptions and Reality</i> Ing. Petr Velička, Ing. Jiří Matějčík, Subterra a.s.	2/2019	39
	3/2019	1	■ Tunel Herrschaftsbusck <i>Herrschaftsbusck Tunnel</i> Ing. Jan Kubek, Pavel Farský, Subterra a.s.	2/2019	47
	3/2019	2	■ Geotechnický monitoring v průběhu hloubení jam a ražby tunelu Deboreč na 4. železničním koridoru <i>Geotechnical Monitoring during the Course of Excavation of Portal Pits and Driving the Deboreč Tunnel on Railway Corridor No. 4</i> Ing. Milan Kössler, Mgr. Aleš Vídeňský, SG Geotechnika a.s.	3/2019	9
	3/2019	3	■ Projekt zárodku silničního tunelu v Plzni <i>Design of a Structural Box Outset for a Road Tunnel in Pilsen</i> Ing. Michal Uhrin, SUDOP PRAHA a.s.	4/2019	4
	4/2019	1	■ Návrh tunelů metodou SCL na stavbě Brno – Přerov <i>SCL Method Used at Brno-Prerov Tunnel Projects</i> Ing. Tomáš Zítka, CEng MICE, EUR ING, Ing. Marcel Poštek, SUDOP PRAHA a.s.	4/2019	14
	4/2019	2	■ Rekonstrukce nelahozeveských tunelů <i>Modernisation of Nelahozeves Tunnels</i> Ing. Jakub Střížik, Ing. Karel Jadrníček, SUDOP PRAHA a.s.	4/2019	21
	4/2019	3	■ Tunel Čebrať na zmenenej trase diaľnice D1 Hubová – Ivachnová <i>Čebrať Tunnel on the Modified Route of Hubová – Ivachnova Section of D1 Motorway</i> Ing. Peter Čulík, Ing. Tomáš Just, OHL ŽS, a.s.	4/2019	29
	4/2019	3	■ Nový železniční tunel Deboreč budovaný v rámci modernizace trati v úseku Sudoměřice – Votice na 4. koridoru <i>Deboreč – a New Railway Tunnel Constructed within the Framework of Modernisation of Track in Sudoměřice – Votice Railway Section, on Rail Corridor No. 4</i> Ing. Tomáš Just, OHL ŽS, a.s.	4/2019	38
	4/2019	3			
<b>2. PODZEMNÍ URBANISMUS, VÝHLEDOVÉ STAVBY, NORMY UNDERGROUND CITY PLANNING, PROSPECTIVE PROJECTS, STANDARDS</b>					
■ Tunel Milochov – předpoklad projektu a skutečnost <i>Milochov Tunnel – Design Assumptions and Reality</i> Ing. Petr Velička, Ing. Jiří Matějčík, Subterra a.s.	2/2019	39			
■ Významné opravy dálničních a silničních tunelů v ČR – realizace a plánování <i>Significant Repairs of Motorway and Road Tunnels in the Czech Republic – Realisation and Planning</i> Ing. Pavel Jeřábek, Mgr. František Rainer, Ředitelství silnic a dálnic ČR	3/2019	29			
■ Projekt zárodku silničního tunelu v Plzni <i>Design of a Structural Box Outset for a Road Tunnel in Pilsen</i> Ing. Michal Uhrin, SUDOP PRAHA a.s.	4/2019	4			
■ Návrh tunelů metodou SCL na stavbě Brno – Přerov <i>SCL Method Used at Brno-Prerov Tunnel Projects</i> Ing. Tomáš Zítka, CEng MICE, EUR ING, Ing. Marcel Poštek, SUDOP PRAHA a.s.	4/2019	14			
<b>3. DOPRAVNÍ STAVBY TRANSPORT-RELATED PROJECTS</b>					
■ Metro D – kdy se začne stavět čtvrtá linka pražského metra? <i>Line D – When Will the Construction of the Fourth Line of Prague Metro Commence?</i> Ing. David Krása, Ing. Libor Martínek, METROPROJEKT Praha a.s.	1/2019	4			
■ Výstavba tunelového „řetězce“ Granitztal, tunely Langer Berg <i>Development of Granitztal “Tunnel Chain”, Langer Berg Tunnels</i> Mgr. Jiří Zmítka, 3G Consulting Engineers, s.r.o.	1/2019	68			

**BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ**  
**BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED**

 Číslo Strana  
 Issue Page

**4. METRO**  
**SUBWAY**

- Metro D – kdy se začne stavět čtvrtá linka pražského metra?  
*Line D – When Will the Construction of the Fourth Line of Prague Metro Commence?*  
Ing. David Krása, Ing. Libor Martínek,  
METROPROJEKT Praha a.s. 1/2019 4
- Geotechnický průzkum pro trasu metra „D“ v úseku Náměstí Míru – Depo Písnice  
*Geotechnical Investigation for Metro Line “D” in Náměstí Míru – Depo Písnice Section*  
Mgr. Aleš Kubát, GeoTec-GS, a.s. 1/2019 13
- Doplnkový geotechnický průzkum v oblasti stanice Pankrác D  
*Supplementary Geotechnical Investigation of the Area of Pankrác D Station*  
Ing. Jiří Růžička, Ing. Miroslav Kochánek,  
Ing. Tomáš Urbánek, METROPROJEKT Praha a.s. 1/2019 28
- Traťové tunely metra A stanice Espoonlahti, Finsko  
*Underground Railway Tunnels and Station of Espoonlahti, Finland*  
Ing. Aleš Gothard, Ing. Pavel Herman, Metrostav a.s. 2/2019 12

**5. KANALIZACE, KOLEKTORY, MALÉ PROFILY**  
**SEWERAGE, UTILITY TUNNELS, SMALL PROFILE TUNNELS**

- Sanace průsaku vod do podzemních objektů přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé stráně  
*Sealing of Water Seepage into Underground Structures of the Dlouhé Stráně Pumped-Storage Hydro Power Station*  
Ing. Jiří Háčovský, CSc., SG Geoinženýring, s.r.o.,  
Ing. Vít Vykydal, ČEZ, a.s. 3/2019 4

**6. SANACE, REKONSTRUKCE, ÚDRŽBA, OPRAVY**  
**RECONSTRUCTION, REINSTATING, MAINTENACE, REPARATION**

- Sanace průsaku vod do podzemních objektů přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé stráně  
*Sealing of Water Seepage into Underground Structures of the Dlouhé Stráně Pumped-Storage Hydro Power Station*  
Ing. Jiří Háčovský, CSc., SG Geoinženýring, s.r.o.,  
Ing. Vít Vykydal, ČEZ, a.s. 3/2019 4
- Významné opravy dálničních a silničních tunelů v ČR – realizace a plánování  
*Significant Repairs of Motorway and Road Tunnels in the Czech Republic – Realisation and Planning*  
Ing. Pavel Jeřábek, Mgr. František Rainer,  
Ředitelství silnic a dálnic ČR 3/2019 29
- Úprava nejvyšší povolené rychlosti v silničních tunelech České republiky  
*Adjustment of Highest Speed Limits for Road Tunnels in the Czech Republic*  
Mgr. František Rainer, Ředitelství silnic a dálnic ČR 3/2019 34
- Rekonstrukce nelahozevských tunelů  
*Modernisation of Nelahozevs Tunnels*  
Ing. Jakub Střížík, Ing. Karel Jadrníček,  
SUDOP PRAHA a.s. 4/2019 21

**7. TEORIE, VÝZKUM, SLEDOVÁNÍ**  
**THEORY, RESEARCH, MONITORING**

- Geotechnický průzkum pro trasu metra „D“ v úseku Náměstí Míru – Depo Písnice  
*Geotechnical Investigation for Metro Line “D” in Náměstí Míru – Depo Písnice Section*  
Mgr. Aleš Kubát, GeoTec-GS, a.s. 1/2019 13
- Doplnkový geotechnický průzkum v oblasti stanice Pankrác D  
*Supplementary Geotechnical Investigation of the Area of Pankrác D Station*  
Ing. Jiří Růžička, Ing. Miroslav Kochánek,  
Ing. Tomáš Urbánek, METROPROJEKT Praha a.s. 1/2019 28

**BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ**  
**BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED**

 Číslo Strana  
 Issue Page

- Tunel Hřebeč – dlouhodobý monitoring sanovaného sesuvu u východního portálu  
*Hřebeč Tunnel – Long-Term Monitoring of Stabilised Landslide at Eastern Portal*  
Mgr. Petr Karlín, GeoTec-GS a.s. 1/2019 48
  - Ejpvické tunely – BIM pro nejdelší železniční tunely v ČR  
*Ejpvické Tunnels – BIM for Longest Railway Tunnels in the CR*  
Ing. Martin Krátký, Ing. Petr Svoboda,  
Metrostav a.s., Divize 5 1/2019 82
  - První statické výpočty pro Novou rakouskou tunelovací metodu se zaměřením na polygonální metodu  
*First Structural Analyses for the New Austrian Tunnelling Method Focusing on Polygonal Method*  
Ing. Jaromír Zlámal, POHL cz, a.s. 2/2019 63
  - Geotechnický monitoring v průběhu hloubení jam a ražby tunelu Deboreč na 4. železničním koridoru  
*Geotechnical Monitoring during the Course of Excavation of Portal Pits and Driving the Deboreč Tunnel on Railway Corridor No. 4*  
Ing. Milan Kössler, Mgr. Aleš Videňský,  
SG Geotechnika a.s. 3/2019 9
  - Statika degradovaného primárního ostění spolupůsobícího s ostěním sekundárním (1. část)  
*Statics of Degraded Primary Lining Interacting with Secondary Lining (Part 1)*  
Ing. Aleš Zapletal, DrSc., Satra, spol. s r.o. 3/2019 38
  - Návrh tunelů metodou SCL na stavbě Brno – Přerov  
*SCL Method Used at Brno-Přerov Tunnel Projects*  
Ing. Tomáš Zítka, CEng MICE, EUR ING,  
Ing. Marcel Poštek, SUDOP PRAHA a.s. 4/2019 14
  - Studie šíření rázové vlny v tunelu  
*Study of Shock Wave Propagation in Tunnel*  
prof. RNDr. Ing. Petr Pavel Procházka, DrSc.,  
Ing. Martin Jan Válek, Ph.D., Ing. Dagmar Jandeková, Ph.D.,  
ČVUT v Praze, Fakulta stavební 4/2019 46
  - Statika degradovaného primárního ostění spolupůsobícího s ostěním sekundárním (2. část)  
*Statics of Degraded Primary Lining Interacting with Secondary Lining (Part 2)*  
Ing. Aleš Zapletal, DrSc., SATRA, spol. s r.o. 4/2019 51
- 8. HISTORIE**  
**HISTORY**
- První statické výpočty pro Novou rakouskou tunelovací metodu se zaměřením na polygonální metodu  
*First Structural Analyses for the New Austrian Tunnelling Method Focusing on Polygonal Method*  
Ing. Jaromír Zlámal, POHL cz, a.s. 2/2019 63
- 9. RŮZNÉ**  
**MISCELLANEOUS**
- Bobtnání zemin v praxi  
*Swelling of Soils in Practice*  
Ing. Miroslav Šedivý, GeoTec-GS, a.s., doc. Dr. Ing. Jan Pruška,  
ČVUT v Praze, Fakulta stavební 1/2019 59
  - Ejpvické tunely – BIM pro nejdelší železniční tunely v ČR  
*Ejpvické Tunnels – BIM for Longest Railway Tunnels in the CR*  
Ing. Martin Krátký, Ing. Petr Svoboda,  
Metrostav a.s., Divize 5 1/2019 82
  - Příprava obsluh tunelů na zvládání krizových situací v tunelovém provozu  
*Preparation of Tunnel Operators for Managing Crisis Situations in Tunnel Operation*  
Martin Žoha, Mgr. František Rainer,  
Ředitelství silnic a dálnic ČR 3/2019 23

**BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ**  
**BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED**

 Číslo Strana  
 Issue Page

- Úprava nejvyšší povolené rychlosti v silničních tunelech České republiky  
*Adjustment of Highest Speed Limits for Road Tunnels in the Czech Republic*  
Mgr. František Rainer, Ředitelství silnic a dálnic ČR 3/2019 34
- Studie šíření rázové vlny v tunelu  
*Study of Shock Wave Propagation in Tunnel*  
prof. RNDr. Ing. Petr Pavel Procházka, DrSc.,  
Ing. Martin Jan Válek, Ph.D., Ing. Dagmar Jandeková, Ph.D.,  
ČVUT v Praze, Fakulta stavební 4/2019 46

**10. STAVEBNÍ MATERIÁLY**  
**BUILDING MATERIAL**

- Tunely Ejpovice – definitivní zajištění propojky č. 8 střikáným betonem  
*Ejpvovice Tunnels – Final Excavation Support of Cross Passage No. 8 with Shotcrete*  
Václav Anděl, Ing. Petr Svoboda, Ing. Petr Hybský,  
Ing. Štefan Ivor, Metrostav a.s. 2/2019 4

**11. TECHNOLOGIE**  
**EQUIPMENT**

- Technologické vybavení silničních tunelů  
*Technology Equipment of Road Tunnels*  
Ing. Miroslav Novák, METROPROJEKT Praha a.s. 1/2019 40
- Příprava obsluh tunelů na zvládnání krizových situací v tunelovém provozu  
*Preparation of Tunnel Operators for Managing Crisis Situations in Tunnel Operation*  
Martin Žoha, Mgr. František Rainer,  
Ředitelství silnic a dálnic ČR 3/2019 23

**12. ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB**  
**THE WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS**

- Mozaika ze světa podzemních staveb  
Ing. Miloslav Novotný 1/2019 95  
2/2019 85  
4/2019 66
- Cena akademika Quido Záruby pro mladé inženýrské geology a geotechniky 1/2019 93
- Na shromáždění delegátů ČKAIT byla udělena čestná členství a vyhlášeny ceny Inženýrské komory za rok 2018  
Ing. Daniel Švec, INGUTIS, spol. s r.o. 2/2019 85

**13. AKTUALITY Z PODZEMNÍCH STAVEB V ČESKÉ A SLOVENSKÉ REPUBLICE**  
**CURRENT NEWS FROM THE CZECH AND SLOVAK UNDERGROUND CONSTRUCTION**

- Mezno a Deboreč – Nové železniční tunely na IV. železničním koridoru  
*Mezno and Deboreč – New Railway Tunnels on Railway Corridor IV*  
Ing. Tomáš Just, OHL ŽS, a.s. 1/2019 96
- Tunely na diaľničnej sieti  
*Tunnels on Motorway Network*  
Tunely Ovčiarско a Žilina  
*Ovčiarско and Žilina Tunnels*  
Tunel Čerbať  
*Čerbať Tunnel*  
Tunel Višňové  
*Višňové Tunnel*  
Tunel Prešov  
*Prešov Tunnel*  
Ing. Miroslav Žáčik, Ing. Jiří Kotouč,  
Ing. Miloslav Frankovský 1/2019 97
- Tunely Diel a Milochovej  
*Diel and Milochovej Tunnels*  
Ing. Ján Kušnir 1/2019 100

**BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ**  
**BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED**

 Číslo Strana  
 Issue Page

- Mezno a Deboreč – Nové železniční tunely na IV. železničním koridoru  
*Mezno and Deboreč – New Railway Tunnels on Railway Corridor IV*  
Ing. Tomáš Just, OHL ŽS, a.s. 2/2019 88
- Tunely na diaľničnej sieti  
*Tunnels on Motorway Network*  
Tunely Ovčiarско a Žilina  
*Ovčiarско and Žilina Tunnels*  
Tunel Čerbať  
*Čerbať Tunnel*  
Tunel Višňové  
*Višňové Tunnel*  
Tunel Prešov  
*Prešov Tunnel*  
Ing. Miroslav Žáčik, Ing. Jiří Kotouč,  
Ing. Miloslav Frankovský 2/2019 89
- Tunely na železničnej sieti  
*Tunnels on Railway Network*  
Tunel Diel  
*Diel Tunnel*  
Tunel Milochovej  
*Milochov Tunnel*  
Ing. Ján Kušnir 2/2019 92
- Metro D – nová linka pražského metra  
*Metro D – New Line of Prague Metro*  
Ing. Boris Šebesta 3/2019 55
- Mezno a Deboreč – Nové železniční tunely na IV. železničním koridoru  
*Mezno and Deboreč – New Railway Tunnels on Railway Corridor IV*  
Ing. Tomáš Just, OHL ŽS, a.s. 3/2019 55
- Tunely na diaľničnej sieti  
*Tunnels on Motorway Network*  
Tunely Ovčiarско a Žilina  
*Ovčiarско and Žilina Tunnels*  
Tunel Čerbať  
*Čerbať Tunnel*  
Tunel Višňové  
*Višňové Tunnel*  
Tunel Prešov  
*Prešov Tunnel*  
Ing. Miroslav Žáčik, Ing. Jiří Kotouč 3/2019 56
- Tunely na železničnej sieti  
*Tunnels on Railway Network*  
Tunel Diel  
*Diel Tunnel*  
Tunel Milochovej  
*Milochov Tunnel*  
Ing. Ján Kušnir 3/2019 59
- Metro D – nová linka pražského metra  
*Metro D – New Line of Prague Metro*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Michal Šerák 4/2019 69
- Mezno a Deboreč – Nové železniční tunely na IV. železničním koridoru  
*Mezno and Deboreč – New Railway Tunnels on Railway Corridor IV*  
Ing. Tomáš Just, OHL ŽS, a.s. 4/2019 70
- Tunely na diaľničnej sieti  
*Tunnels on Motorway Network*  
Tunely Ovčiarско a Žilina  
*Ovčiarско and Žilina Tunnels*  
Tunel Čerbať  
*Čerbať Tunnel*  
Tunel Višňové  
*Višňové Tunnel*  
Tunel Prešov  
*Prešov Tunnel*  
Tunel Bikoš  
*Bikoš Tunnel*  
Ing. Vladimír Ďurša, Ing. Jiří Kotouč 4/2019 71

**BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ**  
**BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED**Číslo Strana  
Issue Page

- Tunely na železniční síti  
*Tunnels on Railway Network*  
Tunel Diel  
*Diel Tunnel*  
Tunel Milochov  
*Milochov Tunnel*  
Ing. Ján Kušnir, REMING CONSULT a.s. 4/2019 73

**14. ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ**  
**NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCE**

- Mezinárodní seminář zpevnování, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí 2019 v Ostravě  
*International Seminar on Reinforcing, Sealing and Anchoring of Ground Mass and Civil Engineering Structures 2019 in Ostrava*  
doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D. 2/2019 86
- Železniční mosty a tunely 2019  
*Railway Bridges and Tunnels 2019*  
Ing. Tomáš Zítka, CEEng MICE, EUR ING 2/2019 87
- Tunelářský světový kongres 2019 v Neapoli  
*World Tunnel Congress 2019 in Naples*  
Ing. Karel Rössler, Ph.D. Metrostav a.s. 3/2019 49
- Konference Podzemní stavby Praha 2019  
*Conference Underground Construction Prague 2019*  
prof. Ing. Matouš Hilar, Ph.D. 3/2019 50
- Swiss Tunnel Congress 2019 v Luzernu  
*Swiss Tunnel Congress 2019 in Luzern*  
Ing. Vlastimil Horák 3/2019 53
- Mezinárodní konference Městské inženýrství Karlovarsko 2019  
*International Conference Urban Engineering Karlovy Vary 2019*  
doc. Ing. Tomáš Vymazal, Ph.D. 3/2019 54
- Tunelářské odpoledne 1/2019  
*Tunnel Afternoon 1/2019*  
Ing. Markéta Prušková, Ph.D. 4/2019 67
- VIII. ročník mezinárodní konference Požární bezpečnost tunelů 2019  
*VIII<sup>th</sup> International Conference on Fire Safety in Tunnels 2019*  
Ing. Miroslav Novák, METROPROJEKT Praha a.s. 4/2019 68

**15. ZPRAVODAJSTVÍ ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE ITA-AITES**  
**CZECH TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES REPORTS**

- Konference Podzemní stavby Praha 2019  
*Conference Underground Construction Prague 2019*  
Ing. Alexandr Butovič 1/2019 109
- Valné shromáždění CzTA ITA-AITES  
*General Assembly of ITA-AITES CzTA*  
Ing. Markéta Prušková, Ph.D. 3/2019 69
- Zpráva z odborného zájezdu České tunelářské asociace do Rakouska ve dnech 2. až 5. října 2019  
*Report from Technical Excursion of the Czech Tunnelling Association to Austria on 2<sup>nd</sup> to 5<sup>th</sup> October 2019*  
Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D. 4/2019 80

**16. SPRÁVODAJSTVO SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ**  
**ASOCIÁCIE ITA-AITES**  
**ITA-ITES SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION REPORT****17. VÝROČÍ**  
**ANNIVERSARIES**

- Devadesát let Ing. Karla Matznera  
*Ing. Karel Matzner Nonagenarian*  
Ing. Miloslav Novotný 1/2019 106
- Ing. Jiří Pechman sedmdesátníkem  
*Ing. Jiří Pechman Septuagenarian*  
Vladislav Horák, Vlastimil Horák 1/2019 107

**BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ**  
**BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED**Číslo Strana  
Issue Page

- 80 let prof. Ing. Jiřího Bartáka, DrSc.  
*80<sup>th</sup> Anniversary of the Birth of prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.*  
doc. Dr. Ing. Jan Pruška 2/2019 99
- Ing. Vlastimil Horák šedesátníkem  
*Ing. Vlastimil Horák Sexagenarian*  
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc. 2/2019 100
- Ing. Martin Srb, Ph.D. – 60 let  
*Ing. Martin Srb, Ph.D. – 60 Years Old*  
prof. Ing. Matouš Hilar, Ph.D. 2/2019 102
- 55 let společnosti Subterra  
*55<sup>th</sup> Anniversary of Subterra Foundation*  
Ing. Jan Vintera, Ing. Jiří Nový, Subterra a.s. 2/2019 104
- doc. Ing. Richard Šňupárek, CSc. osmdesátiiletý  
*doc. Ing. Richard Šňupárek, CSc. Octogenarian*  
doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D. 3/2019 65
- 80 let Ing. Jiřího Pavlíka, CSc.  
*Ing. Jiří Pavlík, CSc. Octogenarian*  
Tomáš Ebermann, GEOTest, a.s. 3/2019 66
- Životní jubileum – 75 let; pan Ing. Ludvík Šajtar, jednatel a generální ředitel SATRA, spol. s r.o.  
*Life Anniversary – 75 Years of Age; Ing. Ludvík Šajtar, Executive Head and General Director of SATRA, spol. s r.o.*  
Ing. Pavel Šourek 3/2019 67
- 80. narozeniny Ing. Jiřího Hudka, CSc.  
*80<sup>th</sup> Birthday of Ing. Jiří Hudek, CSc.*  
RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D. 4/2019 78

**18. ROZLOUČENÍ**  
**LAST FAREWELL**

- Navždy odešel prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc.  
*prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc. Left Forever*  
doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D. 2/2019 109
- Památce Ing. Jiřího Smolíka  
*To the Memory of Ing. Jiří Smolík*  
prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. 2/2019 109
- Rozlúčenie s doc. Kolomanom V. Ratkovským  
*Last Goodbye to doc. Koloman V. Ratkovský*  
Ing. Miloslav Frankovský 3/2019 68

**19. Z HISTORIE PODZEMNÍCH STAVEB**  
**FROM THE HISTORY OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS**

- Pohlednice s tunely ve Švýcarsku I  
*Picture Postcards with Tunnels in Switzerland I*  
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.,  
Ing. Richard Svoboda, Ph.D., Ing. Martin Závacký 1/2019 101
- Pohlednice s tunely v Rakousku III  
*Picture Postcards with Tunnels in Austria III*  
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.,  
Ing. Richard Svoboda, Ph.D., Ing. Martin Závacký 2/2019 94
- Pohlednice s tunely ve Švýcarsku II  
*Picture Postcards with Tunnels in Switzerland II*  
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.,  
Ing. Richard Svoboda, Ph.D., Ing. Martin Závacký 3/2019 61
- Pohlednice s tunely – opět na skok v Čechách  
*Picture Postcards with Tunnels – again in Czechia*  
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.,  
Ing. Richard Svoboda, Ph.D., Ing. Martin Závacký 4/2019 75

**20. Z ČINNOSTI PRACOVNÍCH SKUPIN CzTA**  
**CzTA WORKING GROUPS**

- Zpráva o činnosti pracovní skupiny pro konvenční tunelování  
*Report on Activities of Working Group for Conventional Tunnelling*  
Ing. Jiří Mosler 2/2019 110

# JMENNÝ REJSTŘÍK AUTORŮ STATÍ ČASOPISU TUNEL ZA ROK 2019

## NAME INDEX OF AUTORS OF ARTICLES PUBLISHED IN THE TUNEL JOURNAL IN THE YEAR 2019

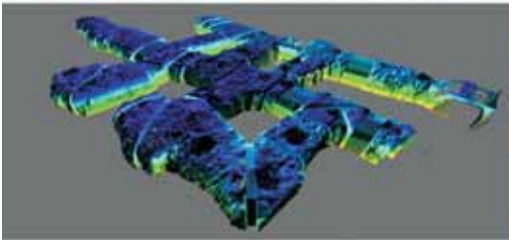
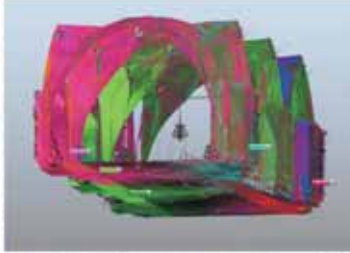
Jméno: Name:	Číslo: Number:	Strana: Page:	Jméno: Name:	Číslo: Number:	Strana: Page:	Jméno: Name:	Číslo: Number:	Strana: Page:
<b>A</b>			<b>J</b>			Rössler, Karel	3/2019	49
Anděl, Václav	2/2019	4	Jadrníček, Karel	4/2019	21	Růžička, Jiří	1/2019	28
<b>B</b>			Jandeková, Dagmar	4/2019	46	<b>S</b>		
Barták, Jiří	2/2019	109	Jeřábek, Pavel	3/2019	29	Slaviček, Tomáš	4/2019	2
Bělohav, Jiří	2/2019	2	Just, Tomáš	1/2019	96	Střížík, Jakub	4/2019	21
Bohátková, Lucie	3/2019	2		2/2019	88	Svoboda, Petr	1/2019	82
Butovič, Alexandr	1/2019	109		3/2019	55		2/2019	4
<b>Č</b>				4/2019	29, 38, 70	Svoboda, Richard	1/2019	101
Čulík, Peter	4/2019	29	<b>K</b>				2/2019	94
<b>D</b>			Karlin, Petr	1/2019	48		3/2019	61
Dudík, Filip	1/2019	3	Kocúrek, Roman	4/2019	3		4/2019	75
Đurša, Vladimír	4/2019	71	Kochánek, Miroslav	1/2019	28	<b>Š</b>		
<b>E</b>			Kotouč, Jiří	1/2019	97	Šebesta, Boris	3/2019	55
Ebermann, Tomáš	3/2019	66		2/2019	89		4/2019	69
	4/2019	1, 80	Korba, Andrej	3/2019	56	Šedivý, Miroslav	1/2019	59
<b>F</b>			Kössler, Milan	4/2019	71	Šerák, Michal	4/2019	69
Farský, Pavel	2/2019	47	Krása, David	2/2019	21	Šourek, Pavel	3/2019	67
Frankovský, Miloslav	1/2019	97	Krátký, Martin	3/2019	9	Švec, Daniel	2/2019	85
	2/2019	89	Kubát, Aleš	1/2019	2, 4	<b>U</b>		
	3/2019	68	Kubek, Jan	1/2019	82	Uhrin, Michal	4/2019	4
Fuchs, Ondřej	2/2019	3	Kušnír, Ján	2/2019	47	Urbánek, Tomáš	1/2019	28
<b>G</b>				1/2019	100	<b>V</b>		
Gothard, Aleš	2/2019	12		2/2019	92	Válek, Martin Jan	4/2019	46
<b>H</b>				3/2019	59	Velička, Petr	2/2019	39
Hájovský, Jiří	3/2019	4	<b>M</b>			Vídeňský, Aleš	3/2019	9
Hasíková, Alena	2/2019	21	Martínek, Libor	1/2019	4	Vintera, Jan	2/2019	104
Herman, Pavel	2/2019	12	Matějčíček, Jiří	2/2019	39	Vykydal, Vít	3/2019	4
Hilar, Matouš	2/2019	1, 102	Mosler, Jiří	2/2019	21, 110	Vymazal, Tomáš	3/2019	54
	3/2019	50	<b>N</b>			<b>Z</b>		
Horák, Vladislav	1/2019	101, 107	Němeček, Tomáš	2/2019	30	Zapletal, Aleš	3/2019	38
	2/2019	94, 100	Novák, Miroslav	1/2019	40		4/2019	51
	3/2019	61		4/2019	68	Závadský, Martin	1/2019	101
	4/2019	75	Novotný, Miloslav	1/2019	95, 106		2/2019	94
Horák, Vlastimil	1/2019	107		2/2019	85		3/2019	61
	3/2019	53	Nový, Jiří	2/2019	104		4/2019	75
Hrubešová, Eva	2/2019	86, 109	<b>P</b>			Zítko, Tomáš	2/2019	87
	3/2019	65	Pošteck, Marcel	4/2019	14		4/2019	14
Hybský, Petr	2/2019	4	Procházka, Petr Pavel	4/2019	46	Zlámal, Jaromír	2/2019	63
<b>CH</b>			Pruška, Jan	1/2019	59		3/2019	1
Chmelař, Radovan	1/2019	1		2/2019	99	Zmítko, Jiří	1/2019	68
	4/2019	78	Prušková, Markéta	3/2019	69	<b>Ž</b>		
<b>I</b>				4/2019	67	Žáčik, Miroslav	1/2019	97
Ivor, Štefan	2/2019	4	<b>R</b>				2/2019	89
			Rainer, František	3/2019	3, 23, 29, 34	Žoha, Martin	3/2019	56
							3/2019	23

We would like to thank our partners for their cooperation  
 We look forward to new tasks and partnerships  
 Experience in surveying services in tunnel constructions since 1981

ANGERMEIER



www.angermeier.cz  
 www.angermeier.sk



Děkujeme našim partnerům za spolupráci  
 Těšíme se na nové úkoly a nová partnerství  
 Geodetické zkušenosti v tunelovém stavitelství od roku 1981

Angermeier Engineers, s.r.o. Pražská 810/16, 102 21 Praha 10  
 Angermeier Slovensko, s.r.o. Seberíného 1, 821 03 Bratislava

# GeoTec GS<sup>®</sup>

GeoTec-GS, a.s.  
 Chmelová 2920/6, 106 00 Praha 10  
 Tel: +420 271 750 709 – 711  
 E-mail: obchod@geotec-gs.cz  
 www: www.geotec-gs.cz  
 datová schránka: rdbp7av



**Program Siisel**  
 pro správu, interpretaci,  
 prezentaci a archivaci dat  
 geotechnického monitoringu



Id	Název	Stav	Průběh	Průběh	Průběh	Průběh
JF 001	... ..	...	...	...	...	...
JF 002	... ..	...	...	...	...	...
JF 003	... ..	...	...	...	...	...
JF 004	... ..	...	...	...	...	...

## Geotechnický průzkum a monitoring podzemních staveb

### Inženýrskogeologické a hydrogeologické průzkumy

- liniové stavby
- inženýrské stavby
- podzemní stavby

### Geotechnika a diagnostika staveb

- polní a laboratorní zkoušky
- geotechnické posudky
- stabilita svahů
- sedání podloží
- diagnostika staveb
- stavebně technické průzkumy
- pasportizace staveb

### Monitoring podzemních staveb

- vedení geotechnického monitoringu
- geologické sledování a dokumentace ražeb
- bezpečnostní měření (konvergence, extenzometrie, měření napětí tenzometry)
- měření deformace povrchu a nadzemní zástavby
- měření rozvoje trhlin na objektech
- monitoring hladiny podzemní vody
- geoelektrické korozní měření



Silniční a  
dopravní projekty



Městské inženýrství



Vodohospodářské  
projekty



Podzemní stavby



Konstrukce a inženýrské  
stavby



Diagnostika staveb a  
monitoring při výstavbě



Životní prostředí



Inženýrská činnost



Geologie a geotechnika

**PUDIS a.s.**

Podbabská 1014/20, 160 00 Praha 6

tel.: +420 267 004 111

www.pudis.cz

e-mail: info@pudis.cz

**Jako první v ČR využíváme horninový dilatometr  
pro měření deformačních charakteristik skalních hornin in-situ.**

