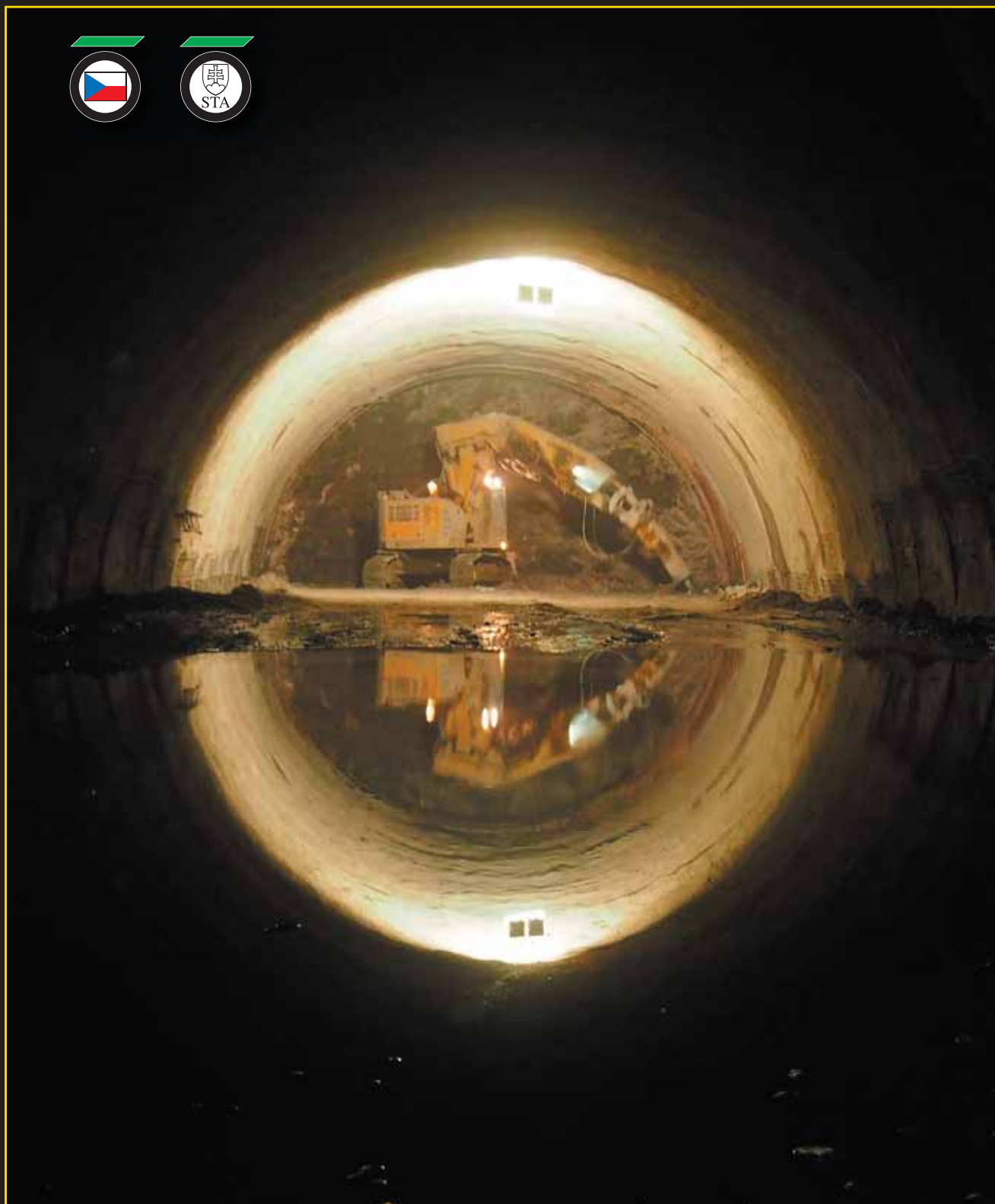


# Tu nel

č. 2  
2020

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



Prorážka dálničního tunelu Spitzenberg, Německo  
Breakthrough of Spitzenberg motorway tunnel, Germany



**SUBTERRA** 

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

Nedržíme se při zemi  
Never stuck on the ground

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>	
Ing. Václav Veselý, Ph.D., člen redakční rady	1
<b>Úvodníky:</b>	
Ing. Ludvík Hegerlík, ředitel společnosti INSET s.r.o.	2
<b>Užití průzkumných prací a geotechnického monitoringu při zmaňání mimořádných událostí na stokové a vodovodní síti</b>	
Ing. Barbora Pavelková, Ing. Zdenek Řehák, INSET s.r.o.	3
<b>Geofyzikální měření z vrtů a podzemních děl k posouzení stavu horninového masivu pro tunelové stavby na příkladu průzkumu Radlické radiály</b>	
Mgr. Radek Zelený, Mgr. David Filipický, Mgr. Tomáš Chabr, INSET s.r.o.	16
<b>Geotechnický monitoring při hloubení šachty a ražbě kabelového tunelu Invalidovna</b>	
Ing. Miroslav Mixa, INSET s.r.o., Ing. Jiří Košťál, Ph.D., INSET s.r.o., Fakulta stavební ČVUT v Praze	28
<b>Tunel Kramer, obchvat Garmisch-Partenkirchen</b>	
Ing. Jiří Patzák, Subterra a.s., Dipl.-Ing. Tobias Schramm, Ing. Daniel Josefík, ARGE Kramertunnel	37
<b>Tunely na stavbách dopravní infrastruktury na Slovensku</b>	
Ing. Miloslav Frankovský, DOPRAVOPROJEKT, a.s., Ing. Ján Kušník, REMING CONSULT, a.s.	48
<b>Podobnost mezi modelem a reálnou konstrukcí zatíženou rázovou vlnou</b>	
prof. RNDr. Ing. Petr Pavel Procházka, DrSc., Ing. Dagmar Jandeková, Ph.D., Fakulta stavební, ČVUT v Praze	58
<b>Zprávy z tunelářských konferencí</b>	66
<b>Aktuality z podzemních staveb v České a Slovenské republice</b>	68
<b>Z historie podzemních staveb</b>	75
<b>Výročí</b>	79
<b>Rozloučení</b>	81
<b>Zpravodajství České tunelářské asociace ITA-AITES</b>	82

## REDAKČNÍ RADA / EDITORIAL BOARD

## Čeští a slovenští členové / Czech and Slovak members

**Předseda / Chairman:** prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. – Stavební fakulta ČVUT v Praze  
Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D. – GEOTEST, a.s.  
Ing. Miloslav Frankovský – STA  
prof. Ing. Matouš Hilar, MSc., Ph.D., CEEng., 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 – DOPRAVOPROJEKT, a.s.  
Ing. Otakar Krásný – GeoTec-GS, a.s.  
Ing. Ján Kušník – 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 tunelárska asociácia ITA-AITES pro vlastní potřebu

## DISTRIBUCE

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

## REDAKCE

Koželužská 2450/4, 180 00 Praha 8-Libeň, tel.: +420 702 062 610  
e-mail: pruskova@ita-aites.cz  
web: http://www.ita-aites.cz  
Vedoucí redaktor: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.  
Odborní redaktori: doc. Dr. Ing. Jan Pruška, Ing. Pavel Šourek,  
RNDr. Radovan 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: Ražba železničního tunelu Mezno  
(Tomáš Just, OHL ZS, a.s., Divize R – Dopravní stavby)

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>	
Ing. Václav Veselý, Ph.D., Editorial Board Member	1
Ing. Ludvík Hegerlík, Director of the INSET s.r.o. Company	2
<b>Use of Surveys and Geotechnical Monitoring to Recovering Extraordinary Events on Sewerage and Water Supply Network</b>	
Ing. Barbora Pavelková, Ing. Zdenek Řehák, INSET s.r.o.	3
<b>Geophysical Measurements from Boreholes and Underground Workings for Assessment of Condition of Rock Massif for Tunnel Construction on the Example of Radlice Radial Road</b>	
Mgr. Radek Zelený, Mgr. David Filipický, Mgr. Tomáš Chabr, INSET s.r.o.	16
<b>Geotechnical Monitoring During Sinking of Shaft and Excavation of Invalidovna Cable Tunnel</b>	
Ing. Miroslav Mixa, INSET s.r.o., Ing. Jiří Košťál, Ph.D., INSET s.r.o., Fakulta stavební ČVUT v Praze	28
<b>Kramer Tunnel, B23 New Garmisch-Partenkirchen</b>	
Ing. Jiří Patzák, Subterra a.s., Dipl.-Ing. Tobias Schramm, Ing. Daniel Josefík, ARGE Kramertunnel	37
<b>Tunnels of Transport Infrastructure Projects in Slovakia</b>	
Ing. Miloslav Frankovský, DOPRAVOPROJEKT, a.s., Ing. Ján Kušník, REMING CONSULT, a.s.	48
<b>Similarity Between Model and Real Structure Impacted by Shockwaves</b>	
prof. RNDr. Ing. Petr Pavel Procházka, DrSc., Ing. Dagmar Jandeková, Ph.D., Fakulta stavební, ČVUT v Praze	58
<b>News from Tunnelling Conferences</b>	66
<b>Current News from the Czech and Slovak Underground Constructions</b>	68
<b>From the History of Underground Constructions</b>	75
<b>Anniversaries</b>	79
<b>Last Farewell</b>	81
<b>Czech Tunneling Association ITA-AITES Report</b>	82

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  
Graphic designs: 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: Mezno rail tunnel excavation  
(Tomáš Just, OHL ZS, a.s., Division R – Transport Construction)



# 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  
Praha 4 – Braník

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

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

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

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 – Veverčí

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.  
Thámová 181/20  
186 00 Praha 8

### STA:

#### Čestní členovia:

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

#### Členské organizácie:

Alfa 04 a.s.  
Jašíkova 6  
821 07 Bratislava

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

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

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

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

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

Doprastav, a.s.  
Drieňová 27  
826 56 Bratislava

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

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

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

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

GEOstatik a.s.  
Kragujevská 11  
010 01 Žilina

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

REMING CONSULT a.s.  
Trnavská 27  
831 04 Bratislava

Renesco a.s.  
Panenská 13  
811 03 Bratislava

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

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

Slovenská správa ciest  
Miletičova 19  
826 19 Bratislava

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

## Vážené čtenářky a čtenáři,

dostává se vám do ruky vydání č. 2/2020 časopisu Tunel. V čase, kdy jím listujete, platí ve společnosti jiná omezení než ta, za jakých toto vydání časopisu vznikalo. A věřte, nikdo z nás v čase tvorby tohoto čísla netuší, jaká to jsou ona aktuální omezení platná pro přelom května a června. Příchod pandemie nás donutil k nejedné změně, a to v pracovním i v osobním životě. Ne, nehodlám se pouštět do analýzy příčin a řešení každodenních problémů, se kterými se stavební průmysl musí vypořádat. Dovolte mi jen obecnou úvahu o kondici českého a slovenského stavebnictví, ve které se nachází díky otevřenému přístupu k informacím, sdílení vědeckého potenciálu, know-how, nových technologií, lidských zdrojů a obchodních příležitostí. Celosvětové uzavření hranic mezi státy ze dne na den poskytlo jasný důkaz o tom, jak globální a jak úspěšné je české a slovenské stavebnictví. Jak z hlediska lidských zdrojů, kdy se ukázala naprostá provázanost pracovního trhu střední a východní Evropy ve fázi projekční i realizační, tak vlastní výroby z hlediska dostupnosti technologií a materiálů nejen v evropském, ale i světovém měřítku. Globální možnosti nám umožnily významný progres, jejich odepření nás může zastavit. Přejme si, aby k plnému otevření hranic zejména pro business došlo co nejdříve. S dodržáním opravdu nezbytných preventivních opatření. Jsme mistři improvizace, jsme schopni technologického vývoje i s minimem zdrojů, omezení přístupu k nim a k příležitostem nás ale dusí a brzdí. Vlastně doufám, že bude toto přání v době vydání časopisu už irelevantní.

Vydání časopisu Tunel č. 2/2020 je věnováno společnosti INSET s.r.o., která se ve svých příspěvcích věnuje technologiím využívaným při geotechnických průzkumech, monitoringu a diagnostice. Mezi dalšími články se můžete dočíst o posledním vývoji na projektu v bavorském Garmisch-Partenkirchenu, dále se můžete seznámit s přehlednou rekapitulací provozovaných i plánovaných tunelů na Slovensku, nebo s analýzou účinku rázové vlny na ostění tunelu. Za pozornost stojí také rubriky, zprávy z konferencí, aktuality a samozřejmě další díl seriálu z historie podzemních staveb.

„Současná krize je výzva“, zní ze všech stran. Ambiciózní tvrzení. Raději zůstanu realistou, a přijměte proto, prosím, jen „výzvu“ k zamyšlení. Svět spěje k ještě hlubší digitalizaci, k internetu věcí. V přípravě a realizaci staveb, průzkumu, diagnostice a monitoringu jsme na prahu masivní automatizace. Kontinuální, dálkový, automatizovaný sběr a sdílení dat, jejich automatizované hodnocení. Strojové modelování variantních řešení, důsledná návaznost na BIM, datové analýzy při řízení výstavby, řízení rizik geotechnických i finančních. To může být ona digitální cesta. Je nutné podílet se na vývoji, nečekat jen na produkty. To vyžaduje vysokou odbornost, úzké provázání na IT. Což je pochopitelně podmíněno investicemi. Je ale možné získat vysokou kvalitu a velkou přidanou hodnotu za výrazně nízkou nabízenou cenu? Je cesta nejnižší ceny jako jediného kritéria obhajitelná? Není toto jedna z nejsilnějších klapek, která nás dusí a brzdí?

Přeji vám všem inspirativní čtení, krásné léto a mnoho osobních i pracovních úspěchů.

*Ing. VÁCLAV VESELÝ, Ph.D.*

*člen redakční rady*

## Dear readers,

You have in your hand issue No. 2/2020 of TUNEL journal. Other restrictions apply in the society at the time you browse it than those under which this issue of the magazine originated. And believe me that none of us have any idea at the time of preparing this TUNEL issue what of the current restrictions will be applicable for the turn of May and June. The onset of the pandemic has forced us to make many changes both in the working and private life. No, I do not intend to embark on an analysis of causes of and solutions to everyday problems that the construction industry has to deal with. Allow me just a general reflection on the condition of the Czech and Slovak construction industries we are in thanks to the open access to information, the sharing of scientific potential, know-how, new technologies, human resources and business opportunities. The global closure of borders between states on a day-to-day basis has provided clear evidence of how global and how successful the Czech and Slovak construction industries are. Both in terms of human resources, which showed the complete interconnectedness of the labour market of Central and Eastern Europe in the design and implementation phase, and our own production in terms of availability of technologies and materials not only in Europe but also worldwide. Global opportunities have allowed for our significant progress, and denying them can stop us. Let us hope that the full opening of the borders, especially for business, will take place as soon as possible, with compliance with the really necessary preventative measures. We are masters of improvisation, we are capable of technological development even with a minimum of resources, but limiting the access to them and opportunities suffocates and hinders us. In fact, I hope that this wish is now, at the time of the magazine publication, no longer relevant.

TUNEL journal issue No. 2/2020 is dedicated to the company of INSET s.r.o., which in its contributions deals with technologies used in geotechnical investigation, monitoring and diagnostics. Among the other papers, you can read about recent developments on a project in Bavarian Garmisch-Partenkirchen, further you can acquaint yourselves with a clear recapitulation of operating and planned tunnels in Slovakia or with an analysis of the impact of a shock wave on a tunnel lining. Also worth noting are columns, news from conferences, current news and, of course, another part of the series on history of underground structures.

„It sounds from all sides: the current crisis is a challenge. It is an ambitious claim. I prefer to stay realistic and therefore, please, accept at least the „challenge“ to think. The world is heading towards an even deeper digitisation, towards the Internet of things. In the preparation and implementation of projects, survey/investigation, diagnostics and monitoring are at the threshold of massive automation. We use continual automated remote data collection and data sharing, automated data assessing, mechanical modelling of variant solutions, consistent connection to the BIM, data analyses in construction management, control of geotechnical and financial risks. It is possible that this can be that digital path. It is necessary to participate in the development, not only wait for products. It requires high level of expertise and close connection to IT. Naturally, this is conditioned by investment. But is it possible to obtain high quality and great added value at significantly low cost being offered? Is the path of the lowest price as the only criterion defensible? Isn't this path one of the strongest flaps that suffocate and slow us down?

I wish you all inspiring reading, a beautiful summer and a lot of personal and professional success.

*Ing. VÁCLAV VESELÝ, Ph.D.,*

*Member of Editorial Board*





**VÁŽENÍ ČTENÁŘI,**

Žijeme ve zvláštní době. Zažitá schémata přestávají platit a nemůžeme se jimi řídit, nové procesy nejsou zažité, vytvářejí se často chaoticky, bez jasného cíle a bez vůdčí vize. Doba je jaksi neuchopitelná, beztvárá a podivná. Těžko se v novém prostoru, který nám vytvořil COVID-19, orientujeme, zažíváme strach o své blízké, o spolupracovníky, o firmy, o stát. Nařízení a opatření se neustále mění, často nechápeme logiku. Chybí nám sociální kontakt s přáteli, jsme pod stále větším tlakem, nevíme, jak vše dopadne a s obavou hledíme do budoucnosti. Ale celé dění má i druhou stranu mince. Když po nařízení povinného nošení roušek, které prostě nikde nebyly, vyrazil ráno celý národ ve vlastnoručně ušitých rouškách, bylo to jako blesk z čistého nebe. Pro mne to vzepětí solidarity a umu znamenalo hodně. Dokázali jsme svoji životaschopnost. Jsme vystrašení, ale uvědomujeme si svoji zodpovědnost k druhým, pomáháme si, hledáme nová technická řešení a často na koleně vyrábíme to, co se nedá koupit.

Budujeme, stavíme a investoři nám vycházejí vstříc a fandí nám, abychom v těchto velmi složitých podmínkách stavěli a vymýšleli, jak udržet výrobu. Jsme pod tlakem a najednou máme velký tah na branku. Věřím, že český národ má v sobě tu zvláštní životaschopnost, která nám pomáhá neztratit se v historii. Jistě bude mnoho komplikací, bolesti, ztracených životů, ale věřím, že máme na to jít dál. Doufám, že politici tuto naději uchopí, porozumí naléhavosti být dobrým hospodářem, mít vizi a dobrou společenskou smlouvu. My pak jistě dokážeme více věřit tomu, že hlavním motivem politiků je dobrá vůle a starost o nás všechny.

Naše společnost INSET chce být i v této době oporou pro své obchodní partnery v celém svém spektru činností od geologie a geotechniky, přes diagnostické práce až po naši akreditovanou laboratoř a inspekční orgán. Jsem hrdý na své spolupracovníky, kteří v plném výkonu a v náročném prostředí provádějí kontrolu kanalizační sítě a speciální diagnostické práce. Jsme v týmu, který provádí monitoring při průzkumu pro nové metro na trase D, v obtížném terénu provádíme geologické práce pro průzkum dálničních tunelů. Při zahájení karantény jsme obstáli při unikátní zatěžovací zkoušce Libeňského mostu v Praze. Vyvíjíme nová technická řešení pro sledování konstrukcí včetně výroby řady námi navržených snímačů. Naše magnetoelastické snímače DYNAMAG pro měření napětí v lanech jsou používány na celém světě, od jaderných elektráren po zavěšené mosty a zemní kotvy. Máme za sebou třicet let práce, dokázali jsme vybudovat silný tým a orientujeme se především na to, být spolehlivými partnery pro své investory, kteří jsou pro nás víc než jen obchodní partneři.

Vážení čtenáři časopisu Tunel, přeji všem, abychom zvládli tuto náročnou dobu a nenechali se odradit těžkostmi při realizaci našich zakázek. Věřím, že „Nová doba“ vytváří výzvy, kterým se umíme postavit a najdeme řešení i tam, kde ho zatím nevidíme. Jsme v segmentu, který má naději i nadále investičně posilovat a držím palce politikům, aby našli odvahu podpořit stavebnictví pro dobrý rozjezd naší ekonomiky.

**DEAR READERS,**

We find ourselves in rather peculiar times. Our established ways are no longer applicable and new protocols – often designed in a chaotic way and without clear aim and leadership vision – yet await validation. The present time is somewhat elusive, with no clear form, and odd indeed. We as society struggle to navigate through the challenges that the coronavirus pandemic brought upon us. We fear for our loved ones, for our colleagues, our companies and our country. The constant changes to regulations coming into effect every day make it difficult to understand the regulations' purpose. We miss our daily social interactions as we find ourselves under ever-increasing pressure as we worry about the future. However, every cloud has a silver lining. As regulations regarding the compulsory wear of face masks came from the government one day, needless to say these were nowhere to be found, it came like a bolt from the blue when the whole nation set out for their daily activities in self-sewn face-masks the very next day. For me personally, the rise of solidarity and skilfulness meant a lot. We are worried but we recognize our responsibility towards others, and we support each other. We seek novel technical solutions to overcome daily obstacles and we devise and manufacture from scratch what cannot be outsourced.

We continue to build and construct, our investors support us to keep constructions going and maintain production under these unprecedented circumstances. The pressure keeps us focused on our ultimate goals. I believe that our nation has the uncanny viability that does not allow us to become lost to history. Undoubtedly, there will be complications, there will be pain and lives will be lost, but I believe that we do have the tenacity to keep on going. I trust that our politicians will grasp this hope, that they will understand the need for good economic leadership with a vision and good public relations. This will indeed strengthen our trust that our politicians' main motivation is good will and our well-being.

Our company INSET aims to support our business partners in every aspect of our work, including geology, geotechnology, diagnostic works, as well as our accredited laboratory and the inspection body operations. I am proud of my colleagues who, in this demanding time, perform inspections of sewerage network and special diagnostic operations at full capacity. We are part of a team that carries out monitoring of the surveillance for new underground line, 'D'. In difficult terrain we perform geological surveillance for new highway tunnels. Moreover, at the beginning of the quarantine we succeeded during a unique load testing of the Libensky bridge in Prague. We constantly develop and implement novel technical solutions for monitoring of constructions which also includes the design and manufacture of specialized sensors. Our DYNAMAG magnetoelastic sensors for measuring stress in cables are used worldwide, from nuclear power plants to suspension bridges and ground anchors. In the past 30 years we successfully built a strong team and we continue to focus on being reliable partners to our investors, who are more than just business partners to us.

Dear readers of the Tunel magazine, I wish us all that we overcome this difficult time and are not discouraged by potential complications as we continue to execute our orders. I believe, that the challenges brought by the 'New age' are challenges that we can face and tackle even if the solution is not readily visible. We are part of the economy sector with potential to strengthen its investments, and I wish for our politicians to find the courage to support the construction industry to bring on a successful re-start to our economy.

**Ing. LUDVÍK HEGRLÍK**

*ředitel společnosti INSET s.r.o.*  
**Director of the INSET s.r.o. Company**

# UŽITÍ PRŮZKUMNÝCH PRACÍ A GEOTECHNICKÉHO MONITORINGU PŘI ZMÁHÁNÍ MIMOŘÁDNÝCH UDÁLOSTÍ NA STOKOVÉ A VODOVODNÍ SÍTI

## USE OF SURVEYS AND GEOTECHNICAL MONITORING TO RECOVERING EXTRAORDINARY EVENTS ON SEWERAGE AND WATER SUPPLY NETWORK

BARBORA PAVELKOVÁ, ZDENEK ŘEHÁK

### ABSTRAKT

Článek na příkladu pražské sítě vodovodů a kanalizací uvádí historický vývoj distribuce pitné a odvádění splaškové vody, poukazuje na materiálové řešení řadů a stok, zmiňuje mechaniku a vznik obvyklých poruch na těchto inženýrských sítích. Dále popisuje typické procesy geotechnického a geofyzikálního průzkumu prováděného v souvislosti s těmito sítěmi. Přibližuje využití servisních služeb průzkumných metod spolu se souborem prací geotechnického monitoringu při sanaci havárie vodohospodářského podzemního díla. Je popsán proces od vzniku mimořádné události a stanovení příčiny, přes okamžitá opatření osazením měřicích bodů, sledování průběžné reakce objektů v okolí na zmáhání havárie až po klidové závěrečné měření a zhodnocení výsledků. Proces průzkumných prací a následné sanace havárie je uveden na konkrétním příkladu.

### ABSTRACT

The paper presents the historic development of the distribution of drinking water and draining sewage water on the example of the Prague network of water mains and sewers. It refers to material solutions to water mains and sewers, mentions the mechanics and origination of usual failures on the utility networks. In addition, it describes processes of typical geotechnical investigation and geophysical survey carried out in relation to those networks. It gives readers an idea of the use of services of survey methods together with the package of geotechnical monitoring operations during recovering an accident on an underground water-supply pipeline. It describes the process from the origination of the extraordinary event and determination of the cause, through immediate measures in the form of installation of measurement points, continuous monitoring of the response of structures in the neighbourhood up to final measurements at rest and assessment of the results. The process of survey operations and subsequent accident recovery is described on a specific example.

### 1. ÚVOD

Provozovatelé vodohospodářských infrastruktur spravují tisíce kilometrů podzemních potrubních staveb různého stáří, materiálu a průtočného profilu. Vlivem stáří, technického stavu a původně plánované nižší kapacity jsou tyto podzemní konstrukce různě odolné na další zvyšování průtoku a neustálé přitěžování z povrchu vlivem narůstající intenzity dopravy a výstavby. Obzvláště v intravilánu větších měst je každá porucha vodovodního řadu nebo kanalizační stoky a její odstraňování zásahem do běžného rytmu volného pohybu ve veřejném prostoru. Nejčastějšími příčinami havárií stokové a vodovodní sítě jsou vysoké stáří konstrukcí, nekvalitní použitý materiál (např. pověstná polská litina ze sedmdesátých let minulého století), nedodržené technologické postupy při výstavbě, mnohonásobně zvýšená dynamická zátěž z nadloží sítí a stavební nekolegialita správců ostatních sítí při výstavbách a rekonstrukcích a nedodržení geotechnických zásad při zasypávání a hutnění zemin a sypanin.

Společnost INSET s.r.o. zajišťuje průzkumné práce, které pomáhají odhalit rozsah poruch; na základě získaných informací pak lze doporučit vhodnou metodu sanace. Současně je společnost INSET s.r.o. dodavatelem i souvisejícího souboru prací geotechnického monitoringu, který je v řadě případů nepostradatelnou součástí stavebních prací.

### 1. INTRODUCTION

Operators of water-management infrastructures operate thousands of kilometres of underground pipelines of various age, from various materials and with various flow profiles. Due to old age, technical condition and originally planned lower capacity, the resistivity of those underground structures to increasing flow rates and permanently increasing loads from the surface resulting from increasing traffic volume and construction activities varies. It is so especially in urban areas of bigger cities that each failure of water lines or sewers and its repair is an intrusion into the common rhythm of free movement in the public space. High age of structures, poor quality used materials (e.g. the notorious Polish cast-iron from the 1970s), breaches of technology during construction, the many times increased dynamic loading from the top of the networks and the lack of construction collegiality of administrators of other networks during construction activities and reconstructions, as well as breaches of geotechnical principles during backfilling and compacting of soils and fills are the most frequent causes of accidents on sewerage and water supply network.

The company of INSET s.r.o. provides surveys helping to reveal the extent of failures; an appropriate recovery method can be subsequently recommended on the basis of the gathered information. The company of INSET s.r.o. is, at the same time, the contractor for the related package of geotechnical monitoring operations, which is in many cases an indispensable part of construction work.

## 2. HISTORIE VÝSTAVBY KANALIZAČNÍCH A VODOVODNÍCH SÍTÍ V PRAZE

### Kanalizační síť

Prvním historickým příkladem významného posunu v technologii odvodňování splašků z ulic města Prahy, kde do té doby bylo jejich odvodnění řešeno pomocí otevřených rýh podél ulic, byla výstavba stoky v délce 150 m v pražském Klementinu. Tato stoka byla vybudována již v roce 1673 a jednalo se o první proplachovací kanál sloužící pro odvodnění stejnojmenného objektu. Stoka byla vystavěna převážně z pískovcových kvádrů v profilu s kruhovou klenbou a segmentovým dnem.

Velkou éru výstavby kanalizačních stok, které slouží i do dnešních dní, zažila Praha na přelomu 19. a 20. století během působení sira Williama Heerleina Lindleyho, který byl významným anglickým inženýrem té doby a zasloužil se o podobu kanalizace nejen evropských měst. Během jeho „pražské éry“ bylo do konce roku 1914 vystavěno celkem 135 305 m kanalizačních stok. Tyto stoky byly zděné z cihel „zvonivek“ ve vejčitém, oválném nebo kruhovém profilu. Pražská stoková síť byla zároveň rozdělena na dvě velké části, které se skládaly z několika obvodů. Díky rozdělení na tato dvě pásma Ing. Lindley odstranil problém zpětného zaplavení města stokami a zabezpečil funkčnost stokové sítě i v případě povodní. Tato síť byla zároveň složena z šesti kmenových stok, které byly označeny písmeny. Stoky A, B, C a D sloužily pro odvodnění okresu středního a jihozápadního. Zbylé dvě kmenové stoky E a F vytvářely okres severovýchodní. Celá tato síť byla doplněna čistírnou odpadních vod v Bubeneči.

Masivní výstavbu pražské kanalizační sítě značně zbrzdila až druhá světová válka, během které došlo i k poškození některých jejích provozovaných částí. Kanalizace byla na mnoha místech narušena nebo zničena provozem těžké vojenské techniky a výbuchy pum při náletech na Prahu. V poválečném období tedy docházelo víceméně k opravám takto způsobených škod.

Novodobý rozvoj sítě dále souvisel s výstavbou rozsáhlých panelových sídlišť, jako jsou Jižní město, Spořilov a Prosek. Kvalita provedení kanalizační sítě, zejména v 50. a 60. letech 20. století, odpovídá tehdejšímu důrazu na rychlost výstavby, nikoliv důrazu na kvalitu. Masivnější rozvoj kanalizační sítě na území Prahy byl ukončen v 90. letech 20. století, kdy byl pozastaven trend výstavby větších panelových sídlišť a následoval odliv obyvatelstva za hranice města, směrem do nově vznikajících příměstských obcí na území Středočeského kraje, kde je odvádění odpadních vod řešeno lokálně [1, 4].

### Vodovodní síť

První záznamy o technických stavbách vodovodní sítě na území Prahy sahají do 12. století. V průběhu 19. století byly postupně nahrazeny původní materiály vodovodní sítě jako dřevo, kámen, cihelné zdivo a olovo za litinu. Na litinové potrubí z konce 19. století lze stále v pražských ulicích narazit, zejména v oblasti Vinohrad. Až do počátků 20. století byla značná část pitné vody odebírána z lokálních zdrojů, převážně z Vltavy. V roce 1914 se s Prahou pojí významný mlínik, a to dodávky první opravdu pitné vody z nově vybudované vodárny v Káraném (cca 25 km severovýchodně od centra). V období od vzniku tzv. Velké Prahy roku 1922 do roku 1972 byla Praha zásobována ze tří zdrojů, z Káraného, z Braníka a z Podolí. Roku 1972 byl zprovozněn vodovodní přivaděč Želivka vystavěný v kruhovém profilu průměru 2 640 mm v délce 52 km. Želivka se momentálně podílí zhruba 75 % na dodávkách pitné vody do Prahy. Praha prošla z pohledu dodávek pitné vody transformací, kdy z původně lokálních zdrojů

## 2. HISTORY OF DEVELOPMENT OF SEWERAGE AND WATER SUPPLY NETWORKS IN PRAGUE

### Sewerage network

The first historic example of a significant shift in the technique of removing sewage from the streets of the city of Prague, where until then drainage was solved by open trenches running along streets, was the construction of a 150m long sewer in Prague Klementinum. The sewer was carried out already in 1673 and it was the first flushing sewer serving to drain the object of the same name. The sewer was constructed mostly of sandstone blocks in a profile with a circular vault and a segmental bottom.

Prague experienced a great era of development of sewers serving even today at the end of the 19<sup>th</sup> century, during the activity of Sir William Heerlein Lindley, an outstanding English engineer of that time, who contributed to the design of sewers not only in European cities. During his “Prague era”, the total of 135,305m of sewers were built. The sewers were built in clinker bricks, with an egg-shaped, oval or circular cross-section. The Prague sewerage network was at the same time divided into two large divisions consisting of several districts. Thanks to the division into the two districts, Ing. Lindley removed the problem of reverse inundation of the city by sewers and ensured functionality of the sewerage network even in the case of floods. The network at the same time consisted of six trunk sewers denoted by letters. Sewers A, B, C and D served to drain the central and south-western regions. Remaining two trunk sewers E and F formed the north-eastern region. The whole network was complemented by a sewage treatment plant in Bubeneč.

The massive development of the Prague sewerage network was significantly hindered later by World War 2, during which some of its operating parts were even damaged. Sewers were disturbed in many places or were damaged by operation of heavy military equipment and explosions of bombs during air raids on Prague. It means that removing damages in the post-war period was more or less focused on the above-mentioned cases.

The development of the modern network was further connected with the development of large residential areas with panel buildings, such as Jižní Město (Southern Satellite Town), Spořilov and Prosek. The quality of work on the sewerage network, first of all the quality, corresponded in the 1950s and 1960s to the emphasis on speed of construction, not on emphasis on quality. More massive development of sewerage network in the territory of Prague was terminated in the 1990s when the trend of developing larger residential areas was suspended and outflow of population beyond borders of cities to newly originating suburban municipalities in the Middle-Bohemian Region, where disposal of sewage is solved locally, followed [1, 4].

### Water supply network

First records about technical construction of the network of water supply mains in Prague date back to the 19<sup>th</sup> century. During the course of the 19<sup>th</sup> century, original materials of the water supply network, such as wood, stone, brick masonry and lead, were gradually replaced by cast iron. Cast iron pipelines from the 19<sup>th</sup> century can still be encountered in Prague streets, mostly in the area of Vinohrady. Until the early 20<sup>th</sup> century, significant proportion of drinking water is taken from local sources, mostly from the Vltava River. An important milestone was connected with Prague, namely with supplies of first really drinking water from the newly built water treatment plant in Kárané (ca 235km northeast of the city centre). In the 1922 to 1972 period, from the establishment of the so-called Great Prague, Prague was supplied with water from three sources, from Kárané, from Braník and from Podolí. In 1972, the 52km long Želivka water supply tunnel with the 2640mm-diameter circular



distribuovaných na předměstí přešla na formát, kdy se pitná voda dodává z okrajových částí do centra, což s přihlédnutím na členitý terén na území města klade zvýšené nároky na provoz vodovodní sítě [8].

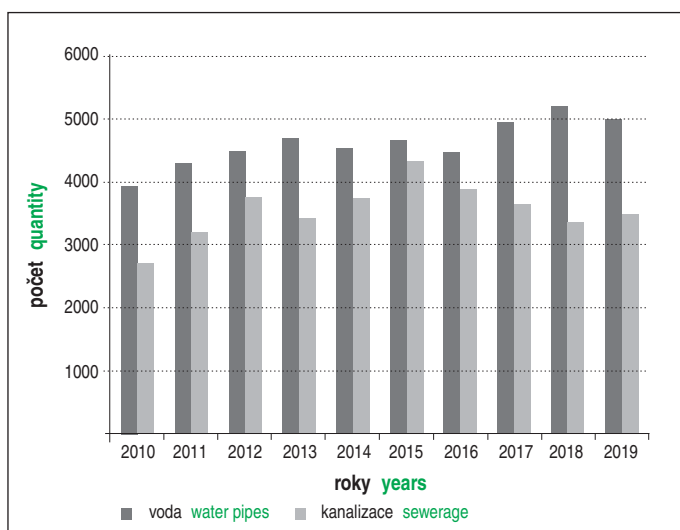
### 3. SOUČASNÝ STAV – PROFILY A MATERIÁLY KANALIZAČNÍ A VODOVODNÍ SÍTĚ

V současnosti je kladen důraz na rekonstrukce stávajících stokových i vodovodních sítí, které jsou svým technickým stavem již často za hranicí životnosti. Dále dochází k výstavbě stokových sítí v rámci generelu odvodnění hl. m. Prahy a plánu rozvoje vodovodů a kanalizací hl. m. Prahy.

Materiál pro výstavbu stok je volen s ohledem na vodotěsnost, odolnost vůči mechanickým, chemickým a biologickým vlivům i agresivnímu působení a má současně umožnit bezpečné a účinné čištění stok. Mezi tyto materiály patří například kamenina, beton, železobeton, čedič, sklolaminát a šedá a tvárná litina. V mnoha případech je i zachován původní koncept zděné kanalizace v kombinaci s obložení, které zvyšuje odolnost vůči chemickým látkám či obrusu.

Obdobná situace panuje při výstavbě a obnově vodovodních sítí. Zde je ovšem kladen důraz zejména na odolnost vůči vysokému zatížení a provoznímu tlaku. Tyto požadavky nejlépe korespondují s využitím ocelových profilů, které mají v tomto ohledu výborné mechanické vlastnosti. Na druhou stranu, ocel je velmi citlivá na korozi a je nutné zabezpečit její vnitřní i vnější ochranu. V současné době jsou ocelové profily nahrazovány jinými materiály, ovšem ve specifických případech zůstávají stále nezastupitelné. Z dalších kovových materiálů určených pro výstavbu vodovodních sítí lze zmínit tvárnou litinu, která postupně nahrazuje využití litiny šedé. Tvárná litina je vhodná zejména pro výstavbu v místech s nestabilním zeminovým či horninovým prostředím nebo pro vodovodní řady s vysokými provozními tlaky. Dále jsou využívány nekovové materiály, jako je sklolaminát s velmi dobrými hydraulickými vlastnostmi a různé plastické hmoty, které slouží zejména pro vybudování řadů menšího profilu v jednoduchých geologických podmínkách.

Zatímco vodovodní řady jsou budovány pouze v kruhových profilech, kanalizační sítě jsou stavěny nebo rekonstruovány v profilech různých tvarů a rozměrů. Nadále se pokračuje v budování kanalizačních sítí ve vejčitém profilu (např. „Viedeňský profil“



Graph 1 Počet havárií na vodovodní a kanalizační sítí v provozu Pražských vodovodů a kanalizací, a.s. v letech 2010–2019

Graph 1 Number of accidents on water supply and sewerage network operated by Pražské Vodovody a Kanalizace, a.s. in 2010–2019

profile was inaugurated. The Želivka River currently accounts for about 75% of drinking water supplies to Prague. Prague has undergone a transformation in terms of drinking water supplies from the originally local sources distributed in suburbs to the centre, which, taking into account the rugged terrain in the city, places increased demands on operation of the water supply network [8].

### 3. CURRENT CONDITION – PROFILES AND MATERIALS OF SEWERAGE AND WATER SUPPLY NETWORK

At present, emphasis is on reconstruction of existing sewerage and water supply networks, which are often beyond their lifetime in terms of their technical condition. In addition, sewerage network is currently being developed within the framework of the Prague drainage Master Plan and the plan for development of water supply and sewerage lines in the Capital City of Prague.

Materials for construction of sewers are selected taking into consideration watertightness, resistance to mechanical, chemical and biological effects and corrosive effects. At the same time they are to allow for safe and effective cleaning. Among those materials there are, for example, vitrified clay, concrete, reinforced concrete, basalt, glassfibre reinforced plastic and grey and ductile iron. The concept of masonry sewers in combination with liners increasing the resistance to chemical matters or wear is even maintained.

Similar situation exists in the construction and renewal of water supply networks. Here, however, emphasis is placed most of all on resistance to high loads and operating pressure. These requirements correspond best with the use of steel sections, which have excellent mechanical properties in this respect. On the other hand, steel is very sensitive to corrosion and it is necessary to ensure its internal and external protection. Currently steel sections are being replaced with other materials, but in specific cases they remain irreplaceable. Of other metal materials intended for construction of water supply networks, it is possible to mention ductile iron, which gradually replaces the use of grey iron. Ductile iron is suitable namely for construction in instable soil or rock environment locations or for water mains with high operational pressures. Furthermore, non-metal materials such as glassfibre reinforced plastic with very good hydraulic properties and various plastic matters, which serve mainly to building smaller-profile mains in simple geological conditions are used.

While water mains are built only in circular profiles, sewerage networks are built or reconstructed in various shape and dimension profiles. The construction of egg-shaped profile sewerage networks (e.g. the “Wien Profile” and “Prague Normal Profile”) which have best hydraulic properties and are most advantageous in terms of statics. At the same time, it is necessary to have in this case a sufficient height of the overburden. Otherwise, circular profiles are often used. They are not so much statically advantageous as the egg-shaped profiles, but, in contrast with the egg-shaped profiles, they allow for faster construction. In the event of small overburden thickness, mouth cross-section profiles are used for sewerage. In addition to the above-mentioned basic shapes, there are many profiles with atypical geometries.

In 2019, the length of the Prague sewerage network amounted to 3697km, with service connections at the length of 996 km [2]. The water supply network at the length of 3539km with service connections at the length of 863km supply drinking water to ca 1.3 million inhabitants of the capital city of Prague and additional 206 thousand inhabitants of the Central Bohemian Region [3].

In the entire length of the sewerage and water supply system, there must inevitably be sections the technical condition of which no more completely correspond to all today’s demands on problem-free operation and where even emergency states can occur in case of

a „Pražský normál“), který má nejlepší hydraulické vlastnosti a je staticky nejvýhodnější. Zároveň je zde však nutné mít dostatečnou výšku nadloží. V opačném případě jsou často využívány profily kruhové, které nejsou tak staticky výhodné jako profil vejčitý, ale umožňují oproti vejčitému průřezu rychlejší výstavbu. Při malé mocnosti nadloží jsou kanalizace vystavěny v profilu „tlamovém“. Mimo zmíněné základní tvary existuje i mnoho profilů s atypickými rozměry.

V roce 2019 dosáhla délka pražské kanalizační sítě 3 697 km s kanalizačními přípojkami v délce 996 km [2]. Vodovodní síť v délce 3 539 km a s přípojkami v délce 863 km zásobuje pitnou vodou cca 1,3 mil. obyvatel hlavního města Prahy a dalších 206 tisíc obyvatel Středočeského kraje [3].

V celé této délce kanalizačního a vodovodního systému se zákonitě musí vyskytovat úseky, které svým technickým stavem již zcela neodpovídají všem dnes kladeným nárokům na jeho bezproblémový provoz a kde může při jeho přetížení docházet i k havarijním stavům. Graf 1 ilustruje vývoj ročního počtu havárií na vodovodní a kanalizační síti během poslední dekadý v Praze [5].

#### 4. PORUCHY KANALIZAČNÍ A VODOVODNÍ SÍTĚ

V obecné rovině lze poruchy na stokových sítích rozdělit do několika skupin. První velkou skupinou jsou poruchy na stokových sítích, které jsou – z hlediska trvanlivosti konstrukčního materiálu – často již za hranicí své životnosti, i když z kapacitního hlediska jsou stále schopny plně saturovat veškeré požadavky na průtok. Jedná se především o stoky v centrech měst, mnohdy z rané éry výstavby. Již samotným vlivem transportu médií dochází k postupnému oslabování profilu stoky. Velký vliv na postupnou degradaci má i velký podélný sklon stoky, který daný proces z důvodu velké rychlosti proudění dokáže značně urychlit. Samozřejmě má značný vliv i použitý materiál.

Další skupinou je kanalizační síť, která je za hranou svých kapacitních možností. Stoka, která může být v dobrém stavebně-technickém stavu, je vystavena tlakovému režimu proudění a následným deformacím samotného ostění.

Obzvláště problematická může být kombinace obou zmíněných možností porušení, ke kterým může docházet v období většího průtoku, zejména při povodních a přívalových deštích.

Třetí skupinou poruch je přetížení stoky vnějšími tlaky. Většina stok vede pod vozovkami. Se zvyšujícím se dopravním zatížením dochází k přetížení stok, které reagují změnou tvaru a trhlinami. Obdobné poruchy z přetížení vznikají novou výstavbou v bezprostředním okolí stávajících stok, zatížením stavební mechanizací nebo vlastní novostavbou. Těmto vlivům podléhají také vodovodní řady.

Čtvrtou skupinou poruch je změna namáhání vlivem ztráty opory horninového prostředí. Různými vlivy a procesy v základové půdě vznikají kolem kanalizačního řadu rozvolněné zóny zeminy, případně až kaverny. Profil stoky je potom namáhaný nerovnoměrně, v profilu vznikají velké ohybové momenty, na což stoka nebyla konstruována.

Vodovodní řad jako takový je zatížen neustálým provozním tlakem. Poruchy jsou v tomto případě jiného charakteru. Pro odolávání vnitřnímu tlaku je zcela nezbytná volba vhodného materiálu, která koresponduje se všemi specifikacemi na daném místě. S tímto souvisí i možná poruchovost vodovodního řadu, která se týká například technologické nekázně při výstavbě a nedostatečné hloubky uložení potrubí. Celkovou poruchovost vodovodního řadu samozřejmě ovlivní i stáří potrubí, použitých tvarovek a armatur. Se stářím materiálu souvisí i možné vady, únava materiálu a ko-

overloading. Graph No. 1 illustrates the development of the annual number of accidents on water supply and sewerage networks during the last decade in Prague [5].

#### 4. FAILURES OF SEWERAGE AND WATER SUPPLY NETWORKS

In general, failures on sewerage networks can be divided into several groups. The first big group is formed by failures on the sewerage networks which are frequently beyond their lifetime as far as the durability of the structural material is concerned, even though, in terms of capacity, they are still able to fully saturate all requirements for the flow rate. These are mainly sewers in centres of cities, often from the early era of development. Gradual weakening of the sewer profile is already caused by the transport of media. The influence of the longitudinal gradient of the sewer on gradual degradation is also significant. It is able to significantly accelerate the particular process due to the high flow rate. Of course, the influence of material is also significant.

Another group is formed by sewerage network which is beyond the edge of its capacity possibilities. A sewer which can be in a good structural condition is exposed to the pressure flow regime and subsequent deformations of the lining itself.

A combination of both above-mentioned failure possibilities which can occur during higher flow rates, namely during floods and downpours, can be especially problematic.

The third group of failures is formed by overloading of the sewer by external pressures. Most sewers run under roadways. Sewers are overloaded when the traffic volume grows. They respond by changes in their shape and by cracks. Similar failures due to overloading originate as a result of new development in immediate surroundings of existing sewers. They are caused by loading induced by construction equipment or the new construction itself. Water supply lines are also susceptible to these effects.

The fourth group of failures comprises changes in loading due to the loss of support by ground environment. Loose soil zones, even caverns, possibly develop due to various effects and processes in foundation ground. The sewer profile is subsequently loaded non-uniformly, large bending moments originate in the profile which the sewer was not designed for.

The water supply line itself is loaded by incessant operating pressure. The character of failures is different in this case. For withstanding the internal pressure it is absolutely necessary to choose a suitable material complying with all specifications at the particular location. Even the potential tendency of the water supply line to fail relating, for example, to the lack of technological discipline during the construction and insufficient depth of the pipeline is related to it. The overall tendency to fail is certainly affected by the age of the pipeline and fittings. The material age is also connected with possible defects, material fatigue and corrosion. A significant role is even played by absolute values of operating pressures, their differences and dynamics.

#### 5. INSPECTION, ASSESSMENT OF FAILURES

As mentioned above, Prague sewerage network is largely made up of sewers built at the end of the 19<sup>th</sup> century, the technical condition of which is not always well known. For that reason there is a need for regular inspections to determine local conditions and the degree of damage. This problem is not just about sewers with older dates of construction. A similar problem can appear also at sewers built relatively recently, which do not have to be beyond their lifetime. Problems caused by the construction itself or by additional unfavourable effects of the surroundings can appear even there.

roze. Významnou roli hrají i absolutní hodnoty provozních tlaků, jejich rozdíly a dynamika.

## 5. PROHLÍDKY, VYHODNOCOVÁNÍ PORUCH

Jak bylo uvedeno výše, pražská stoková síť je ve značné míře tvořena kanalizacemi, které byly budovány na přelomu 19. a 20. století a jejich technický stav není vždy zcela dobře znám. Proto se zde objevuje nutnost provádění pravidelných prohlídek za účelem zjištění místních podmínek a stupně poškození. Tento problém se netýká pouze kanalizací se starším datem výstavby. Obdobný problém se může objevovat i u kanalizací vybudovaných relativně nedávno, které nemusí být za hranicí životnosti, ale mohou se zde objevovat problémy způsobené samotnou výstavbou nebo dodatečnými nepříznivými vlivy okolí.

Významným impulzem pro realizaci pravidelných prohlídek byla havárie na kanalizační stoce pod ulicí Trojská v Praze 8 v 90. letech 20. století. Jedná se o kanalizační stoku vystavěnou ve vejčitém profilu šířky 1000 mm a výšky 1750 mm s velkým podélným sklonem, který se pohybuje kolem hodnoty 10 %. Kanalizace byla vybudována ve velmi nepříznivých geologických a hydrogeologických podmínkách, a to na styku jílovitých šáreckých břidlic a skaleckých křemenců. Horniny skalního podloží jsou překryty vrstvou písčitojílovité hlíny v mocnosti 4–8 m. V trase ražby stoky skalní podloží lokálně přecházelo do větší hloubky a stoka byla ražena i v prostředí zeminovém. První známkou havárie byl propad vozovky o průměru cca 17 m v ulici Trojská v těsné blízkosti tramvajové zastávky. Během průchozích prohlídek byly odhaleny významné kaverny se zcela chybějící dvouplášťovou obezdívkou stoky. Zároveň zde byl velký potenciál rozvoje poruchy směrem k terénu a ohrožení provozu v ulici Trojská. Navazující geofyzikální průzkum odhalil další přítomnost kaveren a anomálních zón. Jiným příkladem z nedávné doby byla havárie kanalizačního řadu ve vejčitém profilu šířky 800 mm a výšky 1430 mm v ulici Vysočanská, kde došlo zároveň k propadu vozovky nad zmíněnou kanalizací (obr. 1). Bezprostředně po této události byly zahájeny průzkumné práce, které měly za cíl stanovit rozsah oslabeného prostředí pod vozovkou a posouzení stavebně-technického stavu kanalizačního sběrače. V souvislosti s detekovanými anomáliemi byl zároveň proveden kamerový průzkum přilehlých dešťových vpustí. Vzhledem k vysoké dopravní intenzitě a možnému vlivu klimatických podmínek, které by měly za důsledek negativní vliv na stabilitu kanalizační stoky a jejího okolí, byla urychleně po zjištění havárie zahájena sanace.

Odlíšný postup při vyhodnocování poruch platí v případě vodovodních řadů. Z principu jejich fungování zde není možné jednodu-



Obr. 1 Propad vozovky při havárii kanalizace v ulici Vysočanská  
Fig. 1 Sinkhole in roadway at the accident on sewer in Vysočanská Street

A major impulse for implementation of regular inspections was the accident on the trunk sewer under Trojská Street in Prague 8 in the 1990s. It was a sewer with an egg-shaped cross-section, 1000mm wide and 1750m high, with large longitudinal gradient the value of which hovered around 10%. The sewer was built in very unfavourable geological and hydrogeological conditions, at interface between clayey Šárka shale and Skalec quartzite. The bedrock is overlaid by a 4–8m thick layer of sandy-clayey loam. The bedrock on the sewer route locally passed to greater depth and the sewer tunnel was driven also through soil environment. The first sign of the accident was a sinkhole in the roadway ca 17m in diameter in Trojská Street, in close proximity to the tram stop. Significant caverns with completely missing double shell lining of the sewer were revealed during inspections conducted by walking through the tube. At the same time, there was a great potential for development of the failure toward the terrain surface, thus jeopardising traffic in Trojská Street. A follow-up geophysical survey revealed the presence of other caverns and anomalous zones. Another example was the recent accident of the sewer with an egg-shaped profile 800mm wide and 1430mm high in Vysočanská Street, where a sinkhole developed above the sewer (see Fig. 1).

Survey operations aimed at determining the scope of the weakened environment under the roadway and assessing the structural condition of the trunk sewer commenced immediately after the event. A camera survey of adjacent curb inlets was conducted at the same time, in connection with the detected anomalies. Taking into consideration the high traffic volume and the possible influence of climatic conditions which would have resulted into a negative impact on the stability of the sewer, rehabilitation operations started quickly after the accident was detected.

A different failure assessment procedure is applicable to water mains. It follows from the principle of their functioning that it is not possible to conduct inspection of the pipeline and for that reason the technical condition of pipes is assessed on the basis of failure rates specified by the number of failures related to the pipeline length unit and the year. Here the dependence of failure rate on the age of the pipeline is not entirely valid.

The overall structural condition of the utility network is assessed by operators and administrators of sewerage and water supply networks. With respect to the investment plan, risk sections of networks can be incorporated into planned reconstruction and rehabilitation or, if the technical condition already significantly jeopardises the stability and near surroundings, they are incorporated into the emergency plan.

## 6. FAILURES OF SEWERAGE FROM OPERATIONAL PERSPECTIVE

For prediction of potential possibilities of accidents on sewerage network it is necessary to understand the mechanism of their origination and the overall effect of the underground structure. In an ideal case, the sewer profile is closed and completely hemmed by the surrounding environment. Due to the effect of ground environment and vertical loading, pressure stresses originate for the effects of which the underground structures are designed. Each disturbance of this equilibrium can result into a change in the distribution of forces and possibility of origination of other than pressure forces. This fact is very complicated by the fact that the structure is underground, where it is impossible to determine all properties of the ground massif in advance with sufficient certainty. Surrounding environment can be inherently very variable and, to certain extent, also unpredictable. This, of course, has a great influence on the appropriate interpretation of the possible development of the failures which can cause accidents.



še provést prohlídku potrubí, a tak je technický stav potrubí posuzován na základě poruchovosti, která udává počet poruch vztažený na jednotku délky potrubí a rok. Zde ne zcela platí závislost míry poruch na stáří vodovodního potrubí.

Celkový stavebně-technický stav inženýrské sítě je posuzován provozovatelem a správcem stokové a vodovodní sítě. S ohledem na investiční plán mohou být rizikové úseky sítě zahrnuty do plánované obnovy a sanace, nebo pokud již technický stav významně ohrožuje její stabilitu a blízké okolí, jsou zařazeny do plánu havarijního zabezpečení.

## 6. PORUCHY KANALIZACE Z PROVOZNÍHO HLEDISKA

Pro predikci potenciálních možností havárie stokové sítě je nutné pochopit mechanismus jejich vzniku a celkové působení podzemní stavby. V ideálním případě je profil stoky uzavřen a zcela sevřen okolním prostředím. Dochází tak vlivem horninového prostředí a svislého zatížení ke vzniku tlakového namáhání, na jehož účinky jsou právě tyto podzemní stavby dimenzovány. Každé narušení této rovnováhy může mít za důsledek změnu rozložení sil a možnost vzniku jiných než tlakových sil. Tato skutečnost je velmi komplikována faktem, že se jedná o podzemní stavbu, kde nelze předem a s dostatečnou jistotou určit veškeré vlastnosti horninového masivu. Okolní prostředí může být ve své podstatě velmi proměnlivé a do jisté míry i nepředvídatelné. Tato skutečnost má samozřejmě i velký vliv na vhodnou interpretaci možného rozvoje poruch, které mohou způsobit havárie.

Rozvoj poškození je z velké části dlouhodobý vývoj, kdy postupně dochází k rozšiřování rozsahu daných poruch v profilu stoky i za jejím ostěním. Stoka, jako liniová stavba, má do jisté míry i schopnost roznášet zatížení v podélném směru a může tak bez větších problémů přenést dané napětí i mimo bodové poruchy. Z tohoto důvodu jsou mnohem rizikovější skupinou úsekové poruchy.

Jak zde již bylo zmíněno, velký vliv na samotný vznik poruch má přirozená degradace použitého materiálu, ať se jedná o profily zděné, nebo tvořené například betonovým prefabrikátem. Nejvíce zatížená část profilu je již z podstaty využití kanalizace místo, kde dochází ke styku konstrukce a transportovaného média, tedy v okolí žlábků (kynety). Postupně tak dochází k vymílání materiálu právě v této části profilu. V případě zděných stok se jedná o poji-vo cihelné vyzdívký (obr. 2), u betonových profilů jsou postupně

The development of damage is largely a long-term process, where the extent of the particular failures within the sewer profile as well as behind its lining gradually grows. The sewer as a linear structure has, to some extent, the ability to longitudinally distribute loads, thus to transfer particular stress even beyond point defects. For that reason sectional failures are a much more risky group.

As mentioned above, natural degradation of materials used has great influence on the development of failures, no matter whether the profiles are from masonry or are formed, for example, by pre-cast concrete products. The most loaded part of the cross-section is, by definition of the use of a sewer, the place where the structure is in contact with the medium being transported, i.e. in the vicinity of the flume (the cunette). In this way material is gradually scoured just in this part of the profile. In the case of masonry sewers it is a case of the binder of brick masonry (see Fig. 2); in concrete profiles, surfaces or covering layers are gradually damaged (see Fig. 3). Continuous reduction of brick lining thickness or the thickness of a concrete profile in the vicinity of the flume results into gradual damaging the bottom watertightness and intrusion of foul water under the structure (see Fig. 4). This effect carries with it numerous problems. From the structural point of view, material is further scoured, but this time behind the sewer lining and caverns originate behind it. The profile of the sewer is no more fully closed and, subsequently, it loses support at its bottom part, where the flume bottom drops in the direction of the weakened environment. Pressure forces are no more transferred by the whole profile and, at the same time, the sewer sides gradually constrict with the gradually growing subsidence (see Fig. 5). These facts are often complemented by origination of tensile cracks caused by the subsidence of the lower part of the profile itself.

The development of caverns is inherently also a natural process, which cannot be completely prevented, but this phenomenon can be enhanced by not completely correct behaviour in the sewerage network. Every linear underground structure behaves as drainage taking away water along its route. In this case, completely non-affectable loosening of the environment behind the sewer lining occurs. This, however, does not apply in places of deliberate point weakening (reducing the thickness) of the sewer lining. This is most frequently caused by connection of service pipes to the collector sewer under the roadway and not fully correct incorporation into the sewer itself (see Fig. 6). The environment behind the sewer lining



Obr. 2 Chybějící zdivo v blízkosti žlábků stoky  
Fig. 2 Missing masonry in the vicinity of the sewer flume



Obr. 3 Degradace betonu stoky – především v její kyneti  
Fig. 3 Degradation of the sewer concrete – first of all at its cunette



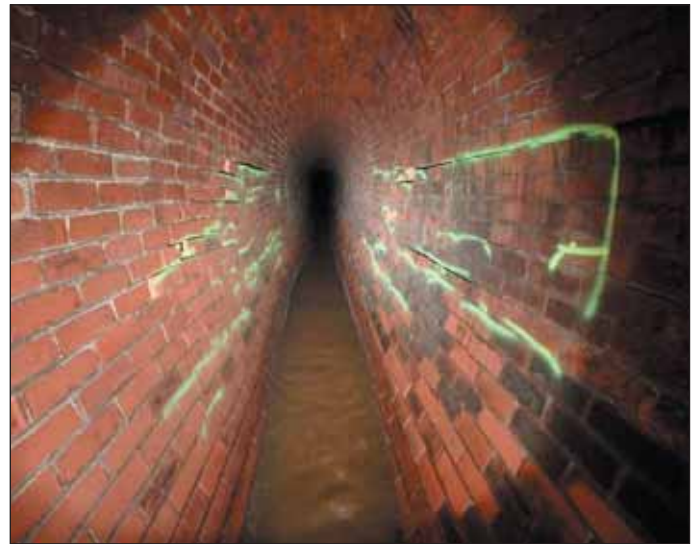
Obr. 4 Rozvolnění řad cihel nad žlábkem a vyplavování zeminového materiálu zpoza ostění stoky  
 Fig. 4 Loosening of a row of bricks above the flume and washing out soil material from behind the sewer lining

rozrušování povrchové, případně krycí vrstvy (obr. 3). Soustavné oslabování cihelné vyzdívky, případně betonového profilu v okolí žlábků, má za následek postupné prolamování vodotěsnosti dna a vnikání splaškové vody pod konstrukci (obr. 4). Toto působení s sebou nese celou řadu problémů. Ze stavebně-technického hlediska dochází k dalšímu vymílání materiálu, tentokrát však za ostěním stoky samotné a vznikají zde kaverny. Profil kanalizace již není zcela uzavřen a následně ztrácí oporu ve své spodní části, kde poté dochází k poklesu žlábků směrem k oslabenému prostředí. Tlakové síly již nejsou přenášeny celým profilem a zároveň s postupným poklesem se boky stoky postupně svírají (obr. 5). Tyto skutečnosti jsou často doplněny vznikem tahových trhlin, které jsou způsobeny samotným poklesem spodní části profilu stoky.

Vznik kaveren je ve své podstatě i přirozeným procesem, kterému nelze zcela zabránit, ale lze tento jev umocnit ne zcela správným počínáním ve stokové síti. Každá liniová podzemní stavba se chová jako drenáž, která odvádí vodu podél své trasy. V tomto případě dochází ke zcela neovlivnitelnému rozvolňování prostředí za ostěním stoky. Toto ovšem neplatí v místech zcela záměrného



Obr. 6 Nesprávné zaústění (přesazení hrdla) přípojky do stoky s obnažením horninového prostředí za ostěním  
 Fig. 6 Incorrect connection (socket overlapping) of a sewer service into the sewer with exposing the rock environment behind the lining



Obr. 5 Pokles žlábků stoky a vznik tahových trhlin v bocích stoky  
 Fig. 5 Drop of the sewer flume and development of tensile cracks in sewer side walls

can be completely open to corrosive effects of foul water. In case of unprofessional work on the connection of the service pipe to the sewer, water directly penetrates into surrounding soil and soil is washed out (see Fig. 7). Penetration of water from the ground environment into the sewer environment is a related defect. In case of water flowing into the sewer, the environment behind the lining can at the same time suffer from loosening. It may be a negative action of groundwater, as well as, for example, water from a damaged water main.

Another and not less serious possibility of breaking the total stability of the sewer is reaching the pressure flow regime, which can occur in the case of abruptly changed flow rate, for example in the case of torrential downpours or in the case of flow rates for which the capacity in a particular locality is already insufficient. Pressure flow regime is reached also in the case when the sewer profile is significantly reduced, for example, by installation of another utility network in it (see Fig. 8) or by total plugging of the sewer. If the structure has insufficient support by the surrounding environment, tensile stress can develop in the vault due to the pressure regime in



Obr. 7 Infiltrace vody z rubu obezdívky do stoky  
 Fig. 7 Water infiltration from the sewer extrados



bodového oslabení ostění stoky. Jedná se nejčastěji o napojení kanalizačních přípojek do uličního sběrače a jejich ne zcela vhodné zakomponování do stoky samotné (obr. 6). Prostředí za ostěním stoky v místech nesprávného napojení přípojky může být i zcela otevřeno agresivnímu působení odpadních vod. V případě neoborného provedení styku stoky a přípojky dochází přímo k pronikání vody do okolní zeminy a k jejímu vyplavování (obr. 7). Související poruchou je pronikání vody z horninového prostředí do stoky. V případě protékání vody do stoky může současně docházet k postupnému rozvolňování prostředí za jejím ostěním. Může se jednat o negativní působení podzemní vody, ale například i vody z havarovaného vodovodního řadu.

Další a neméně závažnou možností příčiny porušení celkové stability stoky je dosažení tlakového režimu proudění, ke kterému může docházet při náhlé změně průtoku, například v případě přívalových srážek, nebo při průtocích s již nedostačující kapacitou stoky pro danou lokalitu, také v případě, kdy je profil stoky výrazně snížen například vedením jiné inženýrské sítě (obr. 8), nebo prostým ucpaním stoky. Vlivem tlakového režimu ve stoce, pokud konstrukce stoky nemá dostatečnou oporu okolního prostředí, může dojít ke vzniku tahového namáhání klenby, nadzvednutí celého profilu stoky a jeho následné deformaci po opadnutí hladiny vody ve stoce (obr. 9). Současně dochází i vlivem tlakového režimu k zatékání vody do prostředí za stokou, které je tímto vymyláno.

Často se však objevují deformace, které přímo souvisejí i s oslabeným zeminovým či horninovým prostředím. Po deformaci, která vznikne tlakovým režimem ve stoce, původně uzavřený profil stoky zůstane neuzavřeným. V tomto případě pak vnitřní síly nejsou schopny se v místě nespojitosti profilu přenášet. Proto vlivem zemního tlaku dochází k postupnému svírání profilu a obezdívka samotná ztrácí stabilitu. Vzniká riziko havárie stoky s ohrožením její základní funkce.

Častým zdrojem poruch na stokové síti je navyšování svislého zatížení, které na klenbu stoky působí. Tento problém se víceméně netýká kanalizační sítě, která bývá poměrně hluboko uložena, ovšem v případě nízkého nadloží může mít tento jev velmi nepříznivé důsledky. Zvyšování míry zatížení je spjato například se zvyšováním intenzity dopravy na pozemních komunikacích, pod kterými stoky zpravidla vedou. Zděná klenba má sama o sobě velkou schopnost odolávat právě tlakovému zatížení. Problémem v pří-

the sewer, the whole sewer profile can be heaved and subsequently, after the water surface in the sewer falls, be deformed (see Fig. 9). At the same time water flows into the environment outside the sewer due to the pressure regime and the environment is scoured by its action.

But deformations directly associated also with the weakened soil or rock environment also often appear. After the deformation which originates due to the pressure regime inside the sewer, the originally closed sewer profile remains unclosed. In such the case the internal forces are not able to transfer themselves in the location of the profile discontinuity. For that reason, due to the ground pressure, the profile is gradually constricted and the lining itself loses stability. A risk of the sewer accident originates and its fundamental function is jeopardised.

A frequent source of failures on sewerage network lies in increasing the vertical loading acting on the sewer vault. This problem is more or less not related to sewerage network because it is usually placed relatively deep. But in case of low overburden this phenomenon may have very unfavourable consequences. Increasing the load rate is associated, for example, with increasing traffic volume on roads, under which sewers usually run. A masonry arch itself has an especially great ability to withstand pressure loading. A problem in the case of overloading is posed by originating horizontal forces acting on the sewer sides. In this case, even bending stress originates in addition to pressure stress and the masonry profile virtually cannot transfer it. The sewer geometry is gradually deformed until longitudinal cracks originate in the middle of the vault and the vault is subsequently destructed (see Fig. 10). Overloading of the sewer by loads acting from the road surface is hard to detect because first cracks originate on the external surface of pipes, which is not accessible.

## 7. GEOTECHNICAL INVESTIGATION AND GEOPHYSICAL SURVEY

Geotechnical investigation and geophysical survey on the Prague sewerage network is focused on localisation of risk places or risk sections of sewers. This investigation and survey are based on operator's requirements and annually covers roughly 8km of sewerage network in Prague or they may serve as detailed survey of the structural condition of the sewer where an emergency accident



Obr. 8 Zmenšení profilu stoky způsobené křížením s jinou inženýrskou sítí  
Fig. 8 Reduction of the sewer profile caused by crossing with another network



Obr. 9 Příčný posun klenby stoky vlivem vnitřního přetlakového režimu ve stoce a následné svírání profilu  
Fig. 9 Lateral shifting of the vault due to internal overpressure regime in the sewer and subsequent contraction of the profile



padě přetížení jsou však vznikající vodorovné síly, které působí na boky stoky a vzniká zde mimo tlakového namáhání i namáhání ohybové, které není schopen zděný profil prakticky přenést. Tvar stoky se tak postupně deformuje až do chvíle, kdy ve středu klenby vznikají podélné trhliny a posléze dojde k její destrukci (obr. 10). Přetížení stoky zatížením z komunikace se obtížně detekuje, protože první trhliny vznikají na vnějším líci, který není přístupný.

## 7. GEOTECHNICKÝ A GEOFYZIKÁLNÍ PRŮZKUM

Geotechnický a geofyzikální průzkum na pražské stokové síti je zaměřený na lokalizování rizikových míst případně rizikových úseků kanalizačních stok. Tento průzkum vychází z požadavku provozovatele a ročně pokrývá zhruba 8 km stokové sítě v Praze, případně může sloužit jako detailní průzkum stavebního stavu stoky, kde byla během pravidelné inspekce provozovatele zjištěna havarijní závada a je dále třeba určit rozsah poruch ohrožujících stabilitu stokové sítě. Výstupy z průzkumu slouží jako vstupní údaje pro návrh vhodného způsobu sanace.

Úkolem průzkumu je posouzení stavu zeminového či horninového prostředí v bezprostředním okolí kanalizační stoky a nad stokou do hloubky odpovídající úrovni založení stoky, vyhledání nehomogenních, rozvolněných a oslabených zón včetně případných dutin. Součástí průzkumu je dokumentace stavebně-technického stavu průchozích případně neprůchozích úseků stok a dalších kanalizačních objektů na stoce. Zároveň je geodeticky ověřována skutečná poloha inženýrské sítě, která se může od mapového podkladu provozovatele významně odchýlovat.

Základním nosným kamenem geotechnického průzkumu je podrobná pasportizace inženýrské sítě, která je podle možnosti přístupu dělena na prohlídky průchozích profilů a kamerové prohlídky trubních řadů. Na základě provedené pasportizace jsou veškeré dokumentované poruchy klasifikovány z hlediska jejich závažnosti a je určena jejich poloha na obvodu profilu pomocí analogického odkazu na hodinový ciferník a poloha v podélném směru, která je dána vzdáleností mezi revizními nebo vstupními šachtami. Tato část průzkumných prací je většinou doplněna o geofyzikální průzkum.

Jak již bylo zmíněno, dobrý stav zeminového či horninového prostředí v bezprostředním okolí stoky je nezbytný pro celkové spolupůsobení s její konstrukcí. Situace je ztížena samotným fak-



**Obr. 10** Trhliny v klenbě způsobené nadměrným zatěžováním nadloží stoky  
**Fig. 10** Cracks in the vault caused by the action of excessive loading on the sewer overburden

was identified during regular inspection by the operator and it is further necessary to determine the extent of failures jeopardising the sewerage network stability. Investigation outputs serve as input data for the design for the rehabilitation technique.

The task of the investigation is to assess the condition of the soil or rock environment in the immediate surroundings of the sewer and above the sewer up to the level corresponding to the sewer foundation, to search for inhomogeneous, loosened zones, including any cavities. Documentation of the structural condition of sewer sections passable for persons or not passable for persons and other sewerage structures on the sewer are parts of the investigation. At the same time the actual location of the utility network is verified by surveyors. The location may significantly deviate from the map base used by the operator.

The basic cornerstone of geotechnical investigation is detailed condition survey of utility network, which is, depending on the possibility of access, divided into inspections of profiles passable for pedestrians and camera inspections of tubular lines. All documented defects are categorised into classes on the basis of the completed condition survey according to their severity. Their position on the profile circumference is determined by means of an analogical reference to a clock face and the location in the longitudinal direction, which is determined by the distance between revision and entrance shafts (manholes). This part of investigation is mostly complemented by geophysical survey.

As mentioned above, good condition of soil or rock environment in the immediate surroundings of the sewer is necessary for the overall interaction with the structure. The situation is made more difficult by the very fact that it is not possible to simply look behind the lining. Even various non-destructive geophysical methods capable of relatively reliably revealing the loose environment are used.

Ground Penetrating Radar (GPR) measurement is based on the principle of emitting high-frequency electromagnetic waves into the soil or rock environment and monitoring of the time behaviour of passing through and reflected waves in radar sections originating by gradual shifting of the system of transmitting and receiving antennas along individual profiles. Anomalies of the type of free or filled with water voids, metal objects, water-bearing or strongly clayey material etc. can be determined using GPR measurements. Direct verification of loosened environment based on GPR measurement is conducted by boreholes through the sewer lining.

GPR measurements are conducted both from the sewer and from the terrain surface. On the surface, the GPR measurement is often complemented by other geophysical methods, mainly by microgravity survey. Microgravity survey of gravitational acceleration at a given point and time helps to locate places signalling loss of mass. With respect to the accuracy of this method it is possible to determine also the volume of the lost material or the loosened material in the surroundings of the sewerage or water supply network. In addition, it is possible to use penetration sounding where inhomogeneities in the overburden and surroundings of the utility network being monitored are detected using rods driven into the soil and measuring the penetration resistance of the sounding rod.

Development of geological search of the particular area proposed for the prospective construction is very appropriate within the framework of the investigation for determination of the assumed behaviour of the soil or rock massif and determination of geotechnical conditions. The search is in this case bound to assessing archive data available from previously carried out boreholes and geological maps. The data can be further refined on the basis of additional requirements. This step is important at the moment where the sewer alignment runs through varied and changing geological structure and it is possible to expect, for example, significant tectonic faults.

tem, že za ostění stoky nelze jednoduše nahlédnout. Pro tyto účely jsou využity i různé nedestruktivní geofyzikální metody, které mohou rozvolněné prostředí relativně spolehlivě odhalit.

Georadarové měření je založeno na principu vysílání vysokofrekvenčního elektromagnetického vlnění do zemního, případně horninového prostředí, a sledování časového průběhu procházejících a odražených vln v radarových řezech, které vznikají postupným posunem systému vysílací a přijímací antény podél jednotlivých profilů. Za pomoci georadarového měření lze určit anomálie typu volné nebo zvodnělé dutiny, kovové objekty, zvodnělý nebo silně jílovitý materiál apod. Pro přímé ověření rozvolněného prostředí na základě georadarového měření jsou prováděny vrty skrz ostění stoky.

Georadarové měření je prováděno ze stoky i z povrchu. Na povrchu bývá radarové měření často doplňováno dalšími geofyzikálními metodami, zejména mikrogravimetrií. Mikrogravimetrické měření tíhového zrychlení v daném bodě a čase pomáhá lokalizovat místa s úbytkem hmot. Vzhledem k přesnosti této metody lze stanovit i množství chybějícího materiálu rozvolněného prostředí v okolí sledované kanalizační nebo vodovodní sítě. Dále lze využít penetrační sondování zeminového prostředí, kdy jsou za pomoci zarážení sondy a měření penetračního odporu sondy detekovány nehomogenity v nadloží a okolí sledované inženýrské sítě.

Pro určení předpokládaného chování zeminového či horninového masivu a určení geotechnických podmínek je velmi vhodné v rámci průzkumných prací nejprve zpracovat geologickou rešerši daného území pro případnou výstavbu. Zpracovávání je v tomto případě vázáno na vyhodnocení dostupných archivních údajů z dříve provedených vrtů a z geologických map. Tyto údaje mohou být na základě dalších požadavků dále upřesňovány. Tento krok je důležitý ve chvíli, kdy trasa kanalizace vede pestrou a proměnlivou geologickou stavbou a lze zde očekávat například významné tektonické poruchy.

## 8. UŽITÍ METOD PRŮZKUMU A MONITORINGU PŘI HAVÁRII NA VODOVODNÍ A KANALIZAČNÍ SÍTI

Každá havárie na stokové nebo vodovodní síti má specifický průběh v závislosti na rozsahu poškození a míře ovlivnění okolních objektů a omezení chodu běžného života v zájmové lokalitě. Obecně lze sled událostí z pohledu prací při havárii rozdělit na následující úkony:

- zajištění bezpečnosti okolí zjištěné havárie – uzavření vodovodních řadů, převedení splašků mimo havarovanou část stoky (je-li to z provozních důvodů možné), zastavení provozu na komunikacích, oplocení míst havárie, atd.;
- včasné vymezení rozsahu poškození a zóny ovlivnění, předání výsledků ke stanovení postupu opravy;
- použití souboru vhodných metod pro sledování vlivů havárie na okolí, vlivů stavebních prací na havárii dotčené objekty, nastavením procesů včasného varování a průběžné vyhodnocování dat měření se zástupcem provozovatele, projektantem a zhotovitelem opravy;
- zhodnocení stability díla a zájmového okolí, ukončení plnění služeb zprávou z měření.

Vymezení rozsahu poškození je třeba provést po zjištění vzniku havárie co nejdříve. V blízkosti havárie je mimo vizuální dokumentace proveden soubor vhodných průzkumných metod jako například plošná georadarová měření, mikrogravimetrické měření, penetrační sondování za účelem určení skutečného rozsahu narušeného zemního prostředí v okolí havarované inženýrské sítě, které nemusí být pouhým okem patrné.

Vhodné metody sledování havárie a blízkého okolí v zóně ovlivnění vycházejí ze souboru observačních metod geotechnického

## 8. USE OF SURVEY METHODS AND MONITORING IN CASE OF EMERGENCY ON WATER SUPPLY AND SEWERAGE NETWORK

Each emergency on sewerage of water supply network has a specific course depending on the extent of damage and the degree of affection of surrounding buildings and restriction of the routine life in the locality of interest. In general, the sequence of events viewed from the aspect of the operations during the emergency can be divided into the following operations:

- securing safety of the neighbourhood of the emergency event – closing water mains, diverting foul water outside the damaged part of the sewer (if it is possible for operational reasons), stopping traffic on roads, fencing the emergency locations etc.;
- timely definition of the scope of damage and the affected zone, forwarding the results to determine the repair procedure;
- application of a set of methods appropriate for monitoring of the emergency impacts on the surroundings, monitoring of effects of construction operations on structures affected by the emergency, setting the processes of early warning and continuous assessing of measurement data together with representatives of the operator, designer and contractor for the repair;
- assessment of the stability of the structure and the area of interest, termination of performing services by means of a measurement report.

Determination of the extent of the damage has to be carried out as early after the origination of the damage as possible. A package of appropriate investigation and survey methods, for example areal GRP measurements, microgravity measurements, penetration sounding into the disturbed soil in the surroundings of the damaged utility network environment are carried out to determine damage which does not have to be visible to the naked eye.

Methods suitable for monitoring the accident and its close surroundings in the affected zone are based on the set of geotechnical monitoring observational methods which is today known rather by its comprehensive use in underground construction and in the application of modern tunnelling methods, for example the New Austrian Tunnelling Method.

It is first of all necessary to focus on monitoring of possible manifestations of the accident, such as deformations of terrain surface and buildings in close proximity to the accident itself, often with daily repeated measurements. For this purpose it is advisable to use a network of stabilised levelling points for monitoring of settlement in combination with monitoring of the development of the width of cracks in load-carrying structures of buildings and monitoring of tilting and dimensional stability of structural parts of interest. On the basis of capturing and prediction of negative trends and impact of deformations on buildings in the vicinity, it is possible to effectively proceed to measures in the meaning of reinforcing openings in selected structures, reinforcing of parts of damaged buildings, immediate underpinning of foundations of buildings, closing or restricting traffic on roads in non-stabilised settlement zones and in this way to prevent other damage to buildings in the accident surroundings, in extreme cases even to prevent losses of human lives.

It is advisable in the course of initial operations to document the structural condition or the parts of selected buildings, it means to carry out a structural condition survey, so that the condition of damaged buildings or condition of the buildings which will be affected by the method chosen for the rehabilitation is captured.

It is advisable to use some of monitoring information systems accessible on line through a web interface for rapid transmission of information and results of measurements to authorised persons. Authorised persons can, owing to the applied early warning system, make immediate decisions on prospective measures and selection of the appropriate procedure of repair.



monitoringu, který je v dnešní době znám spíše svým komplexním využitím při výstavbě podzemních děl a při použití moderních tunelovacích metod, například Nové rakouské tunelovací metody.

Nejprve je třeba zaměřit pozornost na sledování možných projevů havárie, jako je sedání a deformace povrchů a objektů v blízkém okolí havárie samotné, často s denním opakováním prováděných měření. Pro tento účel je vhodné použít síť stabilizovaných nivelačních bodů pro sledování poklesů v kombinaci se sledováním rozvoje šířky stávajících trhlin v nosných konstrukcích objektů a sledování náklonů a tvarové stálosti zájmových částí konstrukcí. Na základě zachycení a predikce negativního trendu poklesů a vlivu deformací na okolní objekty lze efektivně přistoupit k opatřením ve smyslu ztužení otvorů vybraných konstrukcí, ztužení částí narušených objektů, okamžité podchycení základů objektů, uzavření nebo omezení dopravy na komunikacích v nestabilizované poklesové zóně, a tím předejít dalším škodám na objektech v okolí havárie, v krajním případě i předejít ztrátě lidských životů.

V průběhu prvotních úkonů je vhodné provést i dokumentaci stavebně-technického stavu vybraných objektů nebo jejich částí, tedy pasportizaci, tak aby byl prokazatelně zachycen stav poškozených objektů, nebo stav objektů, které budou ovlivněny zvolenou metodou sanace havárie.

Pro rychlý přenos informací a výsledků měření k oprávněným osobám je vhodné využívat některý z informačních systémů monitoringu přístupný online přes webové rozhraní. Oprávněné osoby mohou díky aplikovanému systému včasného varování z informačního systému monitoringu činit okamžitá rozhodnutí o případných opatřeních a volbě vhodného způsobu opravy.

Pro sledování stavebních prací spojených se sanací havárie jsou dále využívány a doplněny body geotechnického monitoringu použité pro určení prvotních vlivů havárie na okolí, ale zpravidla již nejsou prováděna průběžná měření s četností v řádu jednotek dnů. Pokud však vývoj negativních účinků na okolí havárie neustává ani během sanace havárie, lze naopak pro vybrané metodiky geotechnického monitoringu použít systém měření s kontinuálním odečtem dat s prakticky okamžitým zobrazením na webovém portálu informačního systému monitoringu. V případě, že sanační zásah do poškozené konstrukce stoky zahrnuje i úpravy vlastností prostředí za jejím ostěním, např. výplňovou nebo nízkotlakou injektáží, umožňuje georadarová metoda provedení kontroly účinnosti těchto zásahů, kontrolu vyplnění dutin nebo zpevnění horninového masivu a směřovat případný doplňkový sanační zásah tak, aby účinnost opravy byla dlouhodobá a stabilní.

Ukončení geotechnického monitoringu po dokončení opravy je možné pouze v případě, jsou-li sledované poklesy a deformace ustáleny.

Samotný geotechnický monitoring lze využít i v případě požadavku na sledování vybraných úseků rizikových stok, jejichž stavební stav nedosahuje kritéria pro zařazení do plánu sanací, ale je zde velký potenciál pro dynamický rozvoj poruch.

## 9. PŘÍKLAD – HAVÁRIE DEŠŤOVÉ KANALIZACE V PRAZE

Při běžné prohlídce prováděné v květnu roku 2018 provozovatelem stokové sítě v Praze, společností Pražské vodovody a kanalizace, a.s., byly odhaleny vážné stavební závady s možným havarijním dopadem. Stoka vede pod železobetonovou pozemní stavbou a pod ochrannou betonovou konstrukcí, která tento objekt podchází. V návaznosti na výsledky kamerové prohlídky byl společností INSET s.r.o. prováděn podrobný průzkum kanalizační stoky i v navazujících úsecích. Cílem průzkumných prací bylo prověřit stav zemního prostředí v okolí trasy kanalizační stoky. K tomuto

Monitoring of construction operations connected with the rehabilitation is carried out by application of geotechnical monitoring points used for determination of initial effects of the accident on surroundings, but continuous measurements with the frequency in the order of single days are no more carried out. On the contrary, if the development of negative effects on the accident surroundings does not cease even during rehabilitation of the accident, it is possible for selected methodologies of geotechnical monitoring to use a measurement system with continual reading of data with virtually immediate presentation on the web portal of the monitoring information system. In the event that the corrective intervention into the damaged sewer structure comprises even improvement of properties of the environment behind the lining, e.g. back grouting or low-pressure grouting, the GPR method allows for checking on effectiveness of the interventions, checking on filling of cavities or strengthening of the rock massif and focusing a prospective supplementary intervention to ensure that that effectiveness of the repair is long-term and stable.

The termination of geotechnical monitoring is possible only when the settlement values and deformations being monitored are stabilised.

The geotechnical monitoring itself can be used even in the case that it is required to monitor selected sections of risk sewers, the structural condition of which does not reach the criteria for incorporation into the rehabilitation plan, but there is great potential for dynamic development of defects.

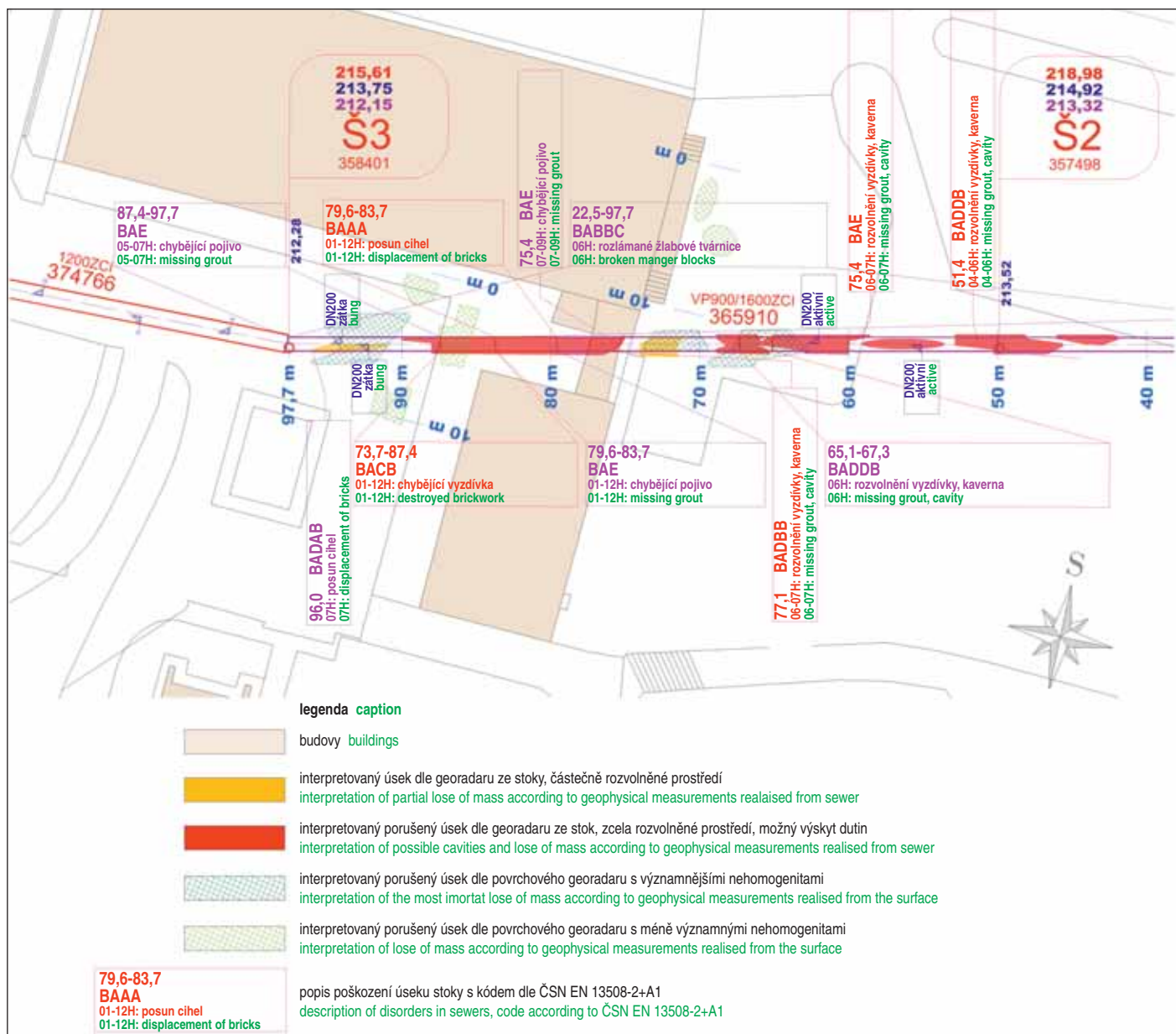
## 9. EXAMPLE – COLLAPSE OF STORM SEWER IN PRAGUE

Serious structural defects with a possible accidental impact were revealed during a routine inspection in May 2018 by the operator of the sewerage network in Prague, the company of Pražské Vodovody a Kanalizace, a.s. (Prague Water Supply and Sewerage Company). The sewer runs under a reinforced concrete underground structure and under a protective concrete structure passing under this structure. Detailed survey of the sewer and the adjoining sections was conducted as a follow-up of the results of the camera inspection carried out by the company of INSET s.r.o. The objective of the survey operations was to verify the condition of soil environment surrounding the sewer. Non-destructive geophysical methods were used for this purpose to inspect the sewer from the inside and from the surface above the sewerage line. The main emphasis was placed on finding sections with weakened soil and presence of caverns or smaller cavities in the vicinity.



Obr. 11 Porušení celistvosti stoky vedené v betonovém kanálu  
Fig. 11 Broken integrity of a sewer running inside a concrete channel





Obr. 12 Výřez situace průzkumných prací se zakreslením poškození a interpretační schéma

Fig. 12 Cutout from a map of survey operations with the damage drawn in it and an interpretaion schéma

účelu byly využity nedestruktivní geofyzikální metody, které byly realizovány ze stoky i z povrchu nad vedením kanalizace. Hlavní důraz byl kladen na vyhledání úseků oslabení zemin a přítomnost kaveren či menších dutin v jejich blízkosti.

Nejzávažnější poruchou, která byla klasifikována jako havarijný stav, byla celková destrukce cihlové obezdívky a odhalení betonového kanálu, ve kterém byla stoka vedena (obr. 11). Prostor mezi ostěním stoky a betonovou chodbou bylo zcela nezaplněno. V rámci průzkumu byla dále označena místa, která vykazovala značný potenciál pro rozvoj k další destrukci cihlové obezdívky stoky samotné. Příčina havárie byla pravděpodobně kombinací několika mechanismů, které byly popsány výše. Vlivem postupné degradace docházelo k oslabování cihelného zdiva v blízkosti kynety, postupnému rozvolňování a tvorbě kaveren. V tomto případě tak dále docházelo k neustálému drcení žlábkových tvárnic a jejich posunu. Lokálně obnažené zeminové prostředí tak bylo postupně vymíláno. Velkou komplikací v tomto případě byl přítok balastních vod do stoky v místě havárie, který vyplavoval prostředí mezi betonovou konstrukcí a ostěním stoky. Takto oslabená stoka již nebyla schop-

The most serious defect, which was classified as an emergency state, was the total destruction of the brick lining and exposing of a concrete channel through which the sewer ran (see Fig. 11). The environment between the sewer lining and the concrete channel was completely without fill. Locations exhibiting significant potential for development leading to additional destruction of the brick lining of the sewer itself were marked within the framework of the survey. The cause of the accident probably lay in a combination of the several above-mentioned mechanisms. The brick masonry in the vicinity of the cunette got weaker, gradually loosened and caverns developed due to gradual degradation. In this case the continuous crushing of channel blocks and their movement continued. Thus the locally exposed soil environment was gradually scored. In this case, the inflow of ballast water into the sewer in the location of the accident was a great complication. It washed out the environment between the concrete structure and the sewer lining. The sewer weakened in this way was no more able to resist the pressure regime of the flow in the sewer. Complete destruction of the sewer happened probably at the moment of intense downpours.

na odolávat tlakovému režimu proudění ve stoce a k její kompletní destrukci došlo pravděpodobně ve chvíli intenzivních srážek.

Po vyhodnocení geotechnického a geofyzikálního průzkumu (obr. 12) byl projektantem navržen postup sanace kanalizační stoky v místě havárie i přilehlých úsecích. Bezprostředně po zjištění havarijního stavu byla stoka provizorně zajištěna stříkaným betonem a byla monitorována její tvarová stálost prostřednictvím měření deformací ostění stoky (konvergenčního měření). Návrh finální opravy stoky byl rozdělen do několika částí. V okolí objektu nadzemní zástavby, pod kterým stoka podchází, byla navržena její kompletní nová ražba a nová obezdívka z cihelného zdiva. V navazujících úsecích byla provedena výměna žlábků, oprava spárování zdiva a zajištění prostředí za ostěním stoky pomocí nízkotlaké injektáže. Současně byl prováděn geotechnický monitoring, jehož cílem bylo zejména určit vliv stavební činnosti na objekt nadzemní zástavby, pod kterou byla kanalizační stoka sanována.

## 10. ZÁVĚR

Kanalizační a vodovodní síť je třeba neustále udržovat a obnovovat. Soubor průzkumných prací se zaměřením na zjištění stavebně-technického stavu této sítě a na stav zeminového nebo horninového prostředí v okolí stok pomáhá přesně lokalizovat rizikové úseky kanalizací a je vhodným podkladem pro návrh sanace. V případě mimořádné události na kanalizaci nebo vodovodu lze – za pomoci vhodně zvolených průzkumných metod – určit skutečný rozsah havárie a vymežit možnou zónu ovlivnění. Výsledky průzkumných prací jsou dále využívány pro návrh sanace. Rychlým nasazením metod geotechnického monitoringu v okolí mimořádné události spolu s nastavením procesů včasného varování za pomoci webového informačního systému monitoringu lze usměrňovat sanační práce tak, aby případné škody na okolních objektech byly co nejmenší. Soubor výsledků průzkumných a monitorovacích prací může dále sloužit jako podklad v případě řešení majetkoprávních sporů při řešení náhrad na havárii ovlivněných okolních objektech.

*Ing. BARBORA PAVELKOVÁ,  
pavelkova.barbora@inset.com,  
Ing. ZDENEK ŘEHÁK,  
rehak.zdenek@inset.com, INSET s.r.o.*

*Recenzoval Reviewed: Ing. Jan Frantl*

After the assessment of the geotechnical investigation and geophysical survey (see Fig. 12) the designer proposed the procedure for rehabilitation of the sewer in the location of the accident and adjacent sections. Immediately after detecting the emergency condition, the sewer was temporarily stabilised by shotcrete and its dimensional stability was monitored by measuring deformations of the sewer lining (convergence measurements). The proposal for the final repair of the sewer was divided into several parts. Excavation of a completely new tunnel under the above-grade building which is passed under by the sewer and a new brick masonry lining was designed. In the following sections, the flume was repaired, the brick masonry was pointed and the environment behind the lining was stabilised by low-pressure grouting. At the same time, geotechnical monitoring was conducted with the objective first of all to determine the influence of construction activities on the above-ground building under which the sewer was being rehabilitated.

## 10. CONCLUSION

Sewerage and water supply networks have to be continuously maintained and renovated. The set of investigation and survey operations focused on determination of structural condition of the network and condition of the soil and rock environment in sewer surroundings helps to exactly locate risk sections of sewers and is an appropriate base for the proposal for rehabilitation. In the event of emergency on a sewer or water main, it is possible – using appropriately selected investigation and survey methods – to determine the actual extent of the accident and delimit the possible affected zone. Results of the investigation and survey operations are further used for the proposal for rehabilitation. It is possible by prompt application of geotechnical monitoring methods in the neighbourhood of the emergency event together with setting up early warning processes using the web monitoring information system to guide the rehabilitation operations so that the possible damage on neighbouring buildings is as small as possible. The package of results of survey and monitoring operations can further serve as a basis in the event of solving compensation of damage on neighbouring buildings affected by the accident.

*Ing. BARBORA PAVELKOVÁ,  
pavelkova.barbora@inset.com,  
Ing. ZDENEK ŘEHÁK,  
rehak.zdenek@inset.com, INSET s.r.o.*

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] BRONCOVÁ, D. *Historie kanalizací: dějiny odvádění a čištění odpadních vod v Českých zemích*. Praha: Milpo media, 2002. Z historie průmyslu. ISBN 80-86098-25-7
- [2] *Odvádění a čištění odpadních vod. Pražské vodovody a kanalizace* [online]. 2020 [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://www.pvk.cz/o-spolecnosti/technicka-a-vyrobní-data/zakladní-informace/odvadení-a-cistení-odpadních-vod/>
- [3] *Výroba a dodávka vody. Pražské vodovody a kanalizace* [online]. 2020 [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://www.pvk.cz/o-spolecnosti/technicka-a-vyrobní-data/zakladní-informace/vyroba-a-dodavka-vody/>
- [4] RACLAVSKÝ, J. a kol. *Rekonstrukce vodohospodářských sítí (stud. opora)*. Brno: VUT v Brně, FAST, 2006. (CS)
- [5] Počet havárií na pražské vodovodní síti loni klesl, snížila se i doba přerušení dodávek pitné vody. *Pražské vodovody a kanalizace* [online]. 2020 [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://www.pvk.cz/aktuality/pocet-havarii-na-prazske-vodovodni-siti-loni-klesl-snizila-se-i-doba-preruseni-dodavek-pitne-vody/>
- [6] *Havárie kanalizačního sběrače Trojská: Příloha časopisu SOVAK*. Praha, 1997, (10)
- [7] PAVELKOVÁ, B., ŠIROKÝ, J. *Zaměření a monitoring při opravě dešťové výpusti, ul. Mochovská, P9. GTP a GFP průzkum dešťové výpusti v ul. Mochovská, úsek Š1 (214,66) / 357497 až Š3 (212,28) / 358401*. Praha. INSET s.r.o., 2018
- [8] BRONCOVÁ, D., JÁSEK, J. *Vodárenství v Čechách, na Moravě a ve Slezsku*. Praha: Milpo media, 2000. Z historie průmyslu. ISBN 80-86098-15-X
- [9] Městské standardy vodovodů a kanalizací na území hl. m. Prahy. KANALIZAČNÍ ČÁST, VODÁRENSKÁ ČÁST, 2. aktualizace – leden 2014

# GEOFYZIKÁLNÍ MĚŘENÍ Z VRTŮ A PODZEMNÍCH DĚL K POSOUZENÍ STAVU HORNINOVÉHO MASIVU PRO TUNELOVÉ STAVBY NA PŘÍKLADU PRŮZKUMU RADLICKÉ RADIÁLY

## GEOPHYSICAL MEASUREMENTS FROM BOREHOLES AND UNDERGROUND WORKINGS FOR ASSESSMENT OF CONDITION OF ROCK MASSIF FOR TUNNEL CONSTRUCTION ON THE EXAMPLE OF RADLICE RADIAL ROAD

RADEK ZELENÝ, DAVID FILIPSKÝ, TOMÁŠ CHABR

### ABSTRAKT

*Příprava tunelových staveb ve složitých geotechnických podmínkách vyžaduje rozšíření znalostí o stavu horninového masivu, než jaké poskytuje klasický povrchový vrtný průzkum. V případě realizace náročných průzkumných štol je vhodné využití těchto děl pro podrobnější poznání stavu horninového masivu. Nové informace o geologických a geotechnických podmínkách lze získat nejen ze samotného díla, ale i z prostoru před jeho čelbou a v okolí průzkumného díla a případně i v prostoru předpokládaného budoucího rozšíření štoly do profilů jednoho či více tunelů. Ražba průzkumné štoly pro připravovanou výstavbu raženého tunelu Radlice na stavbě Radlické radiály v Praze probíhala ve složitém geologickém prostředí s možností výskytu krasových jevů. Pro omezení rizik spojených s průchodem ražby touto oblastí bylo využito geofyzikálních průzkumných metod z povrchu a zejména seismického prosvěcování v předvrtech z čelby ražené štoly. Pro poznání vlastností horninového prostředí v profilu připravovaného tunelu je možné pomocí nejméně dvojice vrtů ze štoly posoudit v detailním měřítku prostředí i mimo profil průzkumné štoly. Uvedený text se věnuje speciálním geofyzikálním metodám modifikovaným pro použití v podzemí. V článku je popsána metodika geofyzikálního měření a jednotlivá geometrická uspořádání a modifikace použité v rámci průzkumu. Pro všechny uvedené geometrie seismického prosvěcování jsou uvedeny příklady výstupů. Kromě seismických metod lze při poznání horninového prostředí využít i další metodiky, jako jsou profilová mikrogravimetrie ze štoly a georadarová měření v profilové i vrtné variantě. U všech uvedených metodik a jejich modifikací je zhodnocen jejich přínos pro omezení rizik při ražbě štol a tunelů a jsou naznačeny jejich další možnosti.*

### ABSTRACT

*Preparation of tunnel construction in complicated geotechnical conditions requires expanding knowledge about the condition of rock massif wider than the knowledge provided by classical borehole survey. In the case of construction of demanding exploratory galleries it is necessary to use the galleries for gaining more detailed knowledge of the rock mass condition. New information about geological and geotechnical conditions can be obtained not only from the underground working itself, but also from the space ahead of the excavation face, but also from the surroundings of the exploratory working and, possibly, from the space of the assumed future expansion of the gallery profile into the profile of one or more tunnels. The excavation of the exploratory gallery for the construction of the Radlice mined tunnel (Radlice Radial Road in Prague project) proceeded in a complex geological environment with the possibility of occurrence of karstic phenomena. Methods of geophysical survey from the surface and, mainly, seismic tomography in holes bored ahead of the excavation face were used for limitation of risks associated with the passage of the excavation through this area. For obtaining knowledge about properties of rock environment within the profile of the tunnel being prepared it is possible to use at least a pair of holes bored from the gallery interior for assessment of the environment in detailed scale even outside the exploratory gallery profile. The above-mentioned text is dedicated to special geophysical methods modified for the use underground. The paper describes the methodology of geophysical measurement and individual geometrical arrangements and modifications used within the framework of the survey. Examples of the outputs are presented for all above-mentioned geometries of seismic tomography. In addition to seismic methods, it is possible to use even other methodologies for gathering knowledge of rock environment, such as profiling microgravity survey from the gallery and Ground Penetrating Radar in both the profiling and drilling variants. The contribution to limitation of risks during excavation of galleries and tunnels is assessed for all above-mentioned methodologies and their modifications and other possibilities of their use are suggested.*

### 1. ÚVOD

Významnou částí páteřní silniční dopravní sítě Prahy se stane Radlická radiála, která má propojit vnitřní městský a vnější pražský silniční okruh v oblasti Smíchova a Jihozápadního města. Specifické místní podmínky zástavby, morfologie terénu a přírodní rezervace nedovolují čistě povrchové vedení komunikace a součástí projektu jsou proto i ražené radlické tunely délky kolem 2 km. Vzhledem ke složitosti geologické stavby a ke zkušenostem z jiných ražených děl v této části Prahy bylo rozhodnuto o realizaci průzkumné štoly. Podle stávajících geologických poznatků je v zájmové trase tunelů

### 1. INTRODUCTION

The Radlice Radial Road will become an important part of the arterial road transport network which is designed to link the internal City Circle Road and the external Prague City Road in the area of Smíchov and Jihozápadní Město (South-Western Satellite Town). Specific local conditions of the urban development, terrain morphology and an urban conservation area do not allow for designing a purely surface alignment of the road. For that reason, even the about 2km long Radlice mined tunnels are parts of the project. The decision on driving an exploratory gallery was made



pravděpodobný výskyt krasových jevů. Výsledky geofyzikálních průzkumných prací byly již částečně publikovány v časopisu Tunel v roce 2016 [1] v rámci prezentace komplexního geotechnického vyhodnocení společnosti PUDIS a.s. [2], [3]. Ražbu průzkumné štolky prováděla společnost Subterra a.s.

Aplikovaná geofyzika získává poznatky o stavu horninového prostředí studiem fyzikálních polí, která jsou ovlivněna rozdílnými vlastnostmi litologie i masivu jako celku. Mezi sledované vlastnosti s návazností na řešení geotechnických úloh patří parametry elastické, hustotní a elektrické. Každý z těchto parametrů je zjištěitelný nebo odvoditelný z prováděných geofyzikálních měření ve vhodné geometrii.

Z hlediska dosahu průzkumu lze geofyzikální měření v podzemních objektech a stavbách rozdělit na metody zjišťující vlastnosti těsného okolí měřeného místa a na metody s větším prostorovým záběrem. Do první skupiny spadají karotážní metody a měření sondami ve vrtech, případně georadarová měření ve stěnách štol. Hlubšího dosahu průzkumu lze dosáhnout obdobou standardních profilových povrchových měření. Mezi metody s největším hloubkovým dosahem, při zajištění vysoké rozlišovací schopnosti, patří prosvěcování horninového prostředí mezi vrty nebo štolami v kombinaci s povrchem [4].

## 2. GEOFYZIKÁLNÍ PRŮZKUM ZE ŠTOLY

K průzkumu horninového masivu z průzkumné štolky tunelu Radlice byly jako hlavní použity metody seismické refrakční tomografie, seismokarotáže a seismické tomografie (prosvěcování) v různých prostorových modifikacích. Z dalších metod byly k měření v průzkumné štolce zvoleny metody mikrogravimetrického a radarového měření v profilové a vrtné variantě.

Seismické metody sledují zeminové/horninové prostředí z hlediska rozložení rychlostí šíření seismických vln, které odpovídají jeho elastickým parametrům. Rychlost šíření seismických vln je materiálovým parametrem úzce spojeným s litologickým typem horninového prostředí, porozitou, charakterem výplně porů a v neposlední řadě s geomechanickým stavem sledovaného prostředí (porušením masivu v tektonických zónách, intenzitou zvětrání, hustotou diskontinuit). Značný vliv na rychlosti šíření seismických vln má i litostatický tlak a napětí v masivu. Rychlost šíření elastických vln v masivu tak přirozeně narůstá s hloubkou. Rychlost se zvyšuje také s rostoucím napětím v masivu.

V seismických metodách jsou sledovanými parametry časy příchodu jednotlivých vln od bodu zdroje vzruchu ke snímači, zjištěné časy jsou použity ke stanovení rychlosti šíření seismických vln. Sledovány jsou vlny podélné (P) a příčné (S). Ze vzájemného poměru rychlostí P vln a S vln lze odvodit elastické/pevnostní charakteristiky horninového masivu. Dalšími sledovanými parametry mohou být rovněž amplituda přijímaného signálu (rychlost kmitání, výchylka) a frekvence procházejících vln.

## 3. MĚLKÁ REFRAKČNÍ SEISMIKA – POVRCHOVÁ REFRAKČNÍ TOMOGRAFIE

Metodou povrchové refrakční tomografie je sledováno rozložení rychlostí šíření seismických vln pomocí analýzy časů šíření tzv. čelné vlny. Tato je v jisté vzdálenosti od zdroje seismické energie registrována jako čas prvního nasazení – tzn. prvního projevu signálu z vyvolaných vibrací na jednotlivých přijímačích (geofonech) zapojených do měřicí aparatury. Kombinací různých pozic zdrojů seismické energie a snímačů rychlosti kmitání je získán soubor závislosti času šíření na vzdálenosti od zdroje. Metodami matematické inverze je hledán model prostředí (tedy rozložení rychlostí šíření v geologickém řezu), jehož teoretická odezva vystihuje měřená data.

with respect to the complexity of the geological structure and the experience from other mined workings in this part of Prague. According to the existing geological knowledge, occurrence of karst phenomena is likely on the tunnel alignment of interest. Results of geophysical survey operations were already partially presented in TUNEL journal in 2016 [1] within the framework of presentation of a comprehensive assessment by the company of PUDIS a.s. [2], [3]. The excavation of the exploratory gallery was carried out by the company of Subterra a.s.

Applied geophysics gathers knowledge about the condition of ground environment by studying physical fields, which are affected by different properties of the lithology and the massif as a whole. Among the monitored properties connected with solutions to geotechnical problems there are elastic, density and electrical parameters. Each of these parameters is detectable or derivable from the geophysical measurements performed in an appropriate geometry.

In terms of the scope of the survey, geophysical measurements in underground structures and constructions can be divided into methods required to determine the properties of the close surroundings of the measured site and methods with greater spatial coverage. The first group comprises logging methods and measurements in boreholes with probes, possibly Ground Penetrating Radar (GPR) measurements in walls of galleries. A deeper reach of the survey can be achieved by an analogy to standard profile surface measurements. Among methods with the greatest depth reach with high resolution ensured there is tomography between boreholes or galleries combined with the surface [4].

## 2. GEOPHYSICAL SURVEY FROM GALLERY

The main methods used for surveying the ground massif from the exploratory gallery for the Radlice tunnel comprised seismic refraction tomography, seismic logging and seismic tomography in various spatial modifications. Of the other methods, microgravity and GPR measurements in the profiling and borehole variants, were used for measurements in the exploratory gallery.

Seismic methods observe soil/rock environment from the aspect of distribution of velocity of propagation of seismic waves corresponding to its elastic parameters. Velocity of seismic wave propagation is a material parameter closely connected with the lithological type of the ground environment, porosity, character of pore filling and, at last but not least, with geomechanical condition of the environment being monitored (faulting of rock mass in tectonic zones, intensity of weathering, joint spacing). Even lithostatic pressure and stress in the massif have significant influence on velocities of seismic wave propagation. The velocity of elastic waves in the massif naturally increases with depth. The velocity also grows with growing stress in the massif.

In seismic methods, times of arrival of individual waves from the excitement source point to the pickup are monitored; the times measured are used for determination of the velocity of seismic wave propagation. Longitudinal waves (P) and transverse waves (S) are monitored. Elastic strength parameters can be deduced from the ratio between P waves and S waves velocities. Other monitored parameters can also comprise the amplitude of the signal received (vibration velocity, deflection) and frequency of passing waves.

## 3. SHALLOW SEISMIC REFRACTION SURVEY – NEAR-SURFACE SEISMIC REFRACTION TOMOGRAPHY

The near-surface seismic refraction tomography method is used for monitoring of the distribution of seismic wave propagation by means of an analysis of time spread of propagation of the so-called

Metodou je sledován průběh tzv. refrakčního rozhraní, rozložení rychlostí šíření seismických vln v jeho (bezprostředním) podloží a rozložení rychlostí v pokryvu. V případě měření ze štoly představují zónu snížených rychlostí horniny porušené vlivem ražby s rychlostí šíření pohybující se kolem hodnoty  $1000 \text{ m.s}^{-1}$ . Podložní horniny jsou zastoupeny rychlostmi od cca  $1000$  až do  $6000 \text{ m.s}^{-1}$ . Vyšší rychlosti ( $3000\text{--}6000 \text{ m.s}^{-1}$ ) odpovídají nezávětralým pevným horninám, nižší rychlosti ukazují na přítomnost závětralých nebo porušených hornin ( $1000\text{--}3000 \text{ m.s}^{-1}$ ). Litologické rozdíly se dále mohou projevit rozdílným gradientem nárůstu rychlostí šíření seismických vln s hloubkou, resp. se vzdáleností od stěny výrubu.

Kombinací různých pozic zdrojů seismické energie a snímačů rychlosti kmitání je získán soubor závislosti času příchodu seismického signálu na vzdálenosti od zdroje, který představuje vstupní hodnoty do inverzního iteračního výpočetního procesu. Výpočtem časů šíření pro počáteční rychlostní model zeminového/horninového prostředí je získán soubor syntetických časů pro použitou konfiguraci měření. Diskrepance měřených a modelových časů šíření jsou metodami matematické inverze převáděny na difference rychlostního modelu. Při konvergenci procesu je získán rychlostní model s odezvou, která se neliší od měřených časů o hodnotu větší, než je nejistota měření.

Získaný model sledovaného prostředí je předkládán v podobě rychlostního řezu. V rychlostních řezech je distribucí rychlostí šíření vedle litologického typu charakterizován především geomechanický stav zeminového/horninového prostředí, tj. intenzita závětrání, hustota diskontinuit, resp. degradace v místech poruchových zón. Zdravé nebo málo závětralé skalní horniny jsou obvykle charakterizovány vysokým (vertikálním) gradientem rychlosti šíření, poruchová zóna se představuje lokálním snížením rychlosti šíření a deformací rychlostního gradientu v kontrastu s monotónním nárůstem rychlosti šíření seismických vln s hloubkou v částech řezu bez lokálního porušení hornin.

#### 4. SEISMICKÉ PROSVĚCOVÁNÍ

Seismické prosvěcování (Seismic Tomography) – poskytuje obraz s vysokým prostorovým rozlišením distribuce rychlostí P a/nebo S vln k vymezení geologických struktur. Pro základní rozdělení metod prosvěcování lze užit geometrie vrt – vrt, vrt – povrch, štola – povrch, štola – štola a další. Všechny tyto varianty byly použity i na uváděném průzkumu pro stavbu radlických tunelů. Použité modifikace metody sledují rozložení rychlostí šíření seismických vln v řezech vymezených liniemi snímačů a zdrojových bodů seismického signálu. Měřenou veličinou je rovněž vlnová odezva snímače (geofonu) na pulzní zdroj a v tomto průběhu odečtený čas šíření procházející vlny (seismického signálu) mezi zdroji a přijímači ve známých pozicích. Tomografická měření jsou zpracována do podoby rychlostních řezů s vyznačenými strukturálními a litologickými jevy.

Výsledky geofyzikálního průzkumu zejména seismického prosvěcování reagují na geomechanický stav horninového masivu změnami v rychlostech šíření seismických vln. Výsledné rychlostní řezy tak kromě změn litologických dovolují indikaci významných poruchových struktur a jejich sledování ve zvolené rovině řezu včetně detekce případných nespojitostí a dutin v horninovém masivu (v tomto konkrétním případě zejména krasových jevů). Důležitou součástí informace z rychlostních řezů je rozsah a míra porušení horninového masivu vlivem použitého způsobu jeho rozpojování (zejména trhačím pracem). Tato porušená oblast v okolí podzemního díla se označuje jako EDZ (excavation damage zone).

It is registered at a certain distance from the seismic energy source as the time of the first break – the so-called initial manifestation of the signal from induced vibrations on individual receivers (geophones) connected to the measurement apparatus. The set of dependencies of time spread of propagation on the distance from the source is obtained by a combination of various positions of the seismic energy sources and vibration velocity sensors. The environment model (i.e. distribution of propagation velocities in a geological section) the theoretical response of which gives a true picture of the measured data is sought using mathematical inversion methods.

The method is used for monitoring of the course of the so-called refraction interface, distribution of velocity of seismic wave propagation in its (immediate) sub-base and distribution of the velocity in the cover. In case of measuring from a gallery, they represent a zone of reduced velocities in rock disrupted by the excavation with the velocity of propagation fluctuating about the value of  $1000 \text{ m.s}^{-1}$ . Underlying rock is represented by velocities ranging from ca  $1000$  to  $6000 \text{ m.s}^{-1}$ . Higher velocities ( $3000\text{--}6000 \text{ m.s}^{-1}$ ) correspond to non-weathered hard rock; lower velocities indicate the presence of weathered or fractured rock ( $1000\text{--}3000 \text{ m.s}^{-1}$ ). Lithological differences can further manifest themselves by a different gradient of the growth of seismic wave velocities with depth, respectively with the distance from the excavation wall.

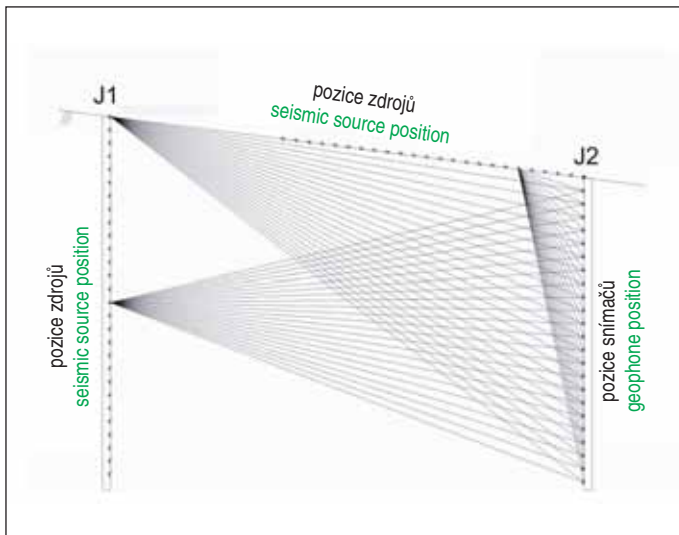
A combination of various positions of seismic energy sources and vibration velocity sensors is used for gathering a set of dependencies of time of seismic signal arrival on the distance from the source, which represents the input values into the inverse iteration computation process. A set of synthetic times for the measurement configuration used is obtained by the calculation of arrival time for the initial velocity model of the soil/rock environment. Discrepancies between measured and model arrival time are converted into differences of the velocity model using mathematical inversion methods. In case of the process convergence, a velocity model with response which does not differ from the measured times by a value greater than measurement uncertainty is obtained.

The model of the monitored environment obtained is submitted in the form of a velocity section. In the velocity sections, the geomechanical condition of the soil/rock environment, i.e. intensity of weathering, joint spacing, respectively degradation in the location of fractured zones, first of all in the velocity sections, are characterised, besides the lithological type, by the distribution of velocities of propagation. Fresh or little weathered rock is usually characterised by high (vertical) gradient of propagation velocity; a faulted zone manifests itself by local reduction in propagation velocity and deformation of the velocity gradient in contrast with monotonous increase in velocity of seismic wave propagation with the depth in parts of the section without local fracturing of rock.

#### 4. SEISMIC TOMOGRAPHY

Seismic Tomography – it provides a picture with high spatial resolution of distribution of velocities of P and/or S waves for delimitation of geological structures. Borehole-borehole, borehole-surface, gallery – surface, gallery-gallery and other geometries can be used for basic distribution of tomography methods. All of the above-mentioned variants were applied even to the above-mentioned investigation for the construction of the Radlice tunnels. The used modifications of the method pursue the distribution of seismic wave





Obr. 1 Schéma měření seismické tomografie  
Fig. 1 Seismic tomography measurement chart

Tomografická měření byla doplněna o seismokarotáž, kdy je sledován čas průchodu seismického signálu mezi zdrojem (obvykle umístěným v blízkosti ústí vrtu) a snímači ve vrtech. Výsledkem je seismokarotážní modelová křivka transformovaná do rychlostního vrstevního modelu, který ukazuje zastoupení horninových vrstev charakterizovaných mocností a rychlostí šíření seismických vln (obr. 1 a 2).

Tomografický výpočet rychlostního pole šíření seismických vln prostředím byl prováděn v programových prostředích Rayfract™ (Intelligent Resources Inc.) a ReflexW (Sandmeier Software) v pravidelné pravoúhlé výpočetní síti s krokem  $0,25 \times 0,25$  m. Jako nulový vstupní model pro iterační inverzní proces bylo použito prostředí s gradientem rychlosti  $100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  na 1 m hloubky. Seismické paprsky, představující trasu šíření vysokofrekvenční složky seismického signálu, byly počítány jako dvojrozměrné zakřivené trajektorie v rovině řezu. Ta je zde chápána jako svislá rovina procházející body zhlaví použité dvojice vrtů. V případě zakřivených průběhů vrtaných sond jsou měřené časy šíření opraveny podle skutečné prostorové pozice zdrojů a přijímačů a výsledný předkládaný řez tak lze považovat za průmět obecné plochy měření do proložené roviny.

## 5. BEZPEČNOSTNÍ JÁDROVÉ PŘEDVRTY Z ČELBY ŠTOLY

Měření v bezpečnostních jádrových předvrtech byla rozšířena o seismické prosvěcování na čelbách, které dokáže oproti seismokarotážním měřením postihnout plošné rozložení případných poruch a krasových jevů. Data ze seismokarotáže jsou navíc do plošného měření implementována. Výsledný řez má převážně tvar rovnoramenného trojúhelníku s výškou odpovídající délce vrtu a se základnou na čelbě štoly.

Měření v průzkumné štole Radlické radiály byla prováděna na základě požadavků geotechnického průzkumu a zástupců zhotovitele ražeb bezprostředně po odvrtání bezpečnostních předvrtů z čelby. Jádrové předvrtky měly délku 20 až 30 m a byly vedeny dovrchně tak, aby postihly případné poruchy v přístropí a nadloží průzkumné štoly s největším potenciálem negativního ovlivnění stability výrubu. V těchto vrtech bylo prováděno geofyzikální měření seismickou tomografií a vrtným georadarem. Výsledky byly průběžně předávány na stavbu do 16 hodin od zahájení měření.

Na základě geofyzikálních měření ve vrtu provedeném z čelby průzkumné štoly (obr. 3) byla stanovena základní rajonizace zkou-



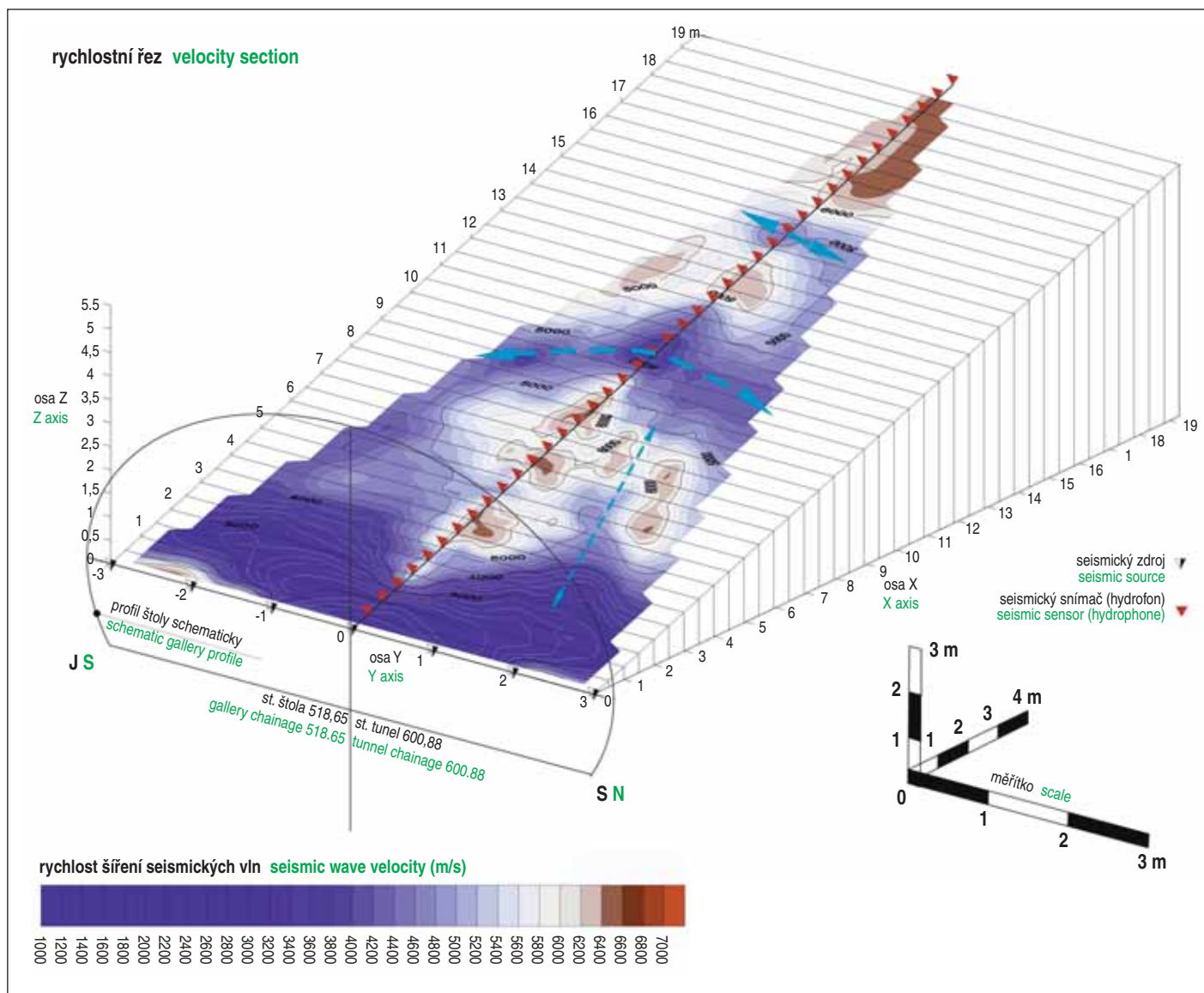
Obr. 2 Čtyřstupňový tříložkový seismický snímač do vrtu – INSET  
Fig. 2 Four-stage, three-component seismic borehole sensor – INSET

propagation velocities in sections delimited by lines of sensors and source points of seismic signal. The wave response of the sensor (geophone) to the pulse source and the time spread of propagation of the wave (seismic signal) passing between sources and receivers in known positions is also a measured parameter. Tomographic measurements are processed into the form of velocity sections with structural and lithological phenomena marked in them.

The results of geophysical survey, first of all seismic tomography, respond to the geomechanical condition of ground massif by changes in velocities of seismic wave propagation. In addition to lithological changes, resultant velocity sections allow for indicating significant failure structures and their monitoring in the selected section plane including detection of possible discontinuities and cavities in the rock massif (in this particular case first of all karst phenomena). An important part of the information from the velocity sections lies in the extent and rate of the rock massif fracturing caused by the disintegration technique used (mainly by blasting). This fractured area in the surroundings of the underground working is denoted as the EDZ (Excavation Damage Zone).

Tomographic measurements were supplemented by seismic logging, where the arrival time of the seismic signal between the source (usually installed at the borehole mouth) and sensors in boreholes is observed. The result is a seismic logging model curve transformed into a bedding velocity model, which shows the representation of ground layers characterised by thickness and velocity of seismic wave propagation (see Figures 1 and 2).

Tomographic calculation of the velocity field of seismic wave propagation through an environment was conducted in program environments Rayfract™ (Intelligent Resources Inc.) and ReflexW (Sandmeier Software), in regular rectangular computation network with  $0.25 \times 0.25 \text{ m}$  step. An environment with velocity gradient  $100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  per 1m of depth was used as the zero input model for the inverse iteration process. Seismic rays representing the path of propagation of the high-frequency component of seismic signal were computed as two-dimensional curved trajectories in the section plane. The plane is understood here as a vertical plane passing through points of the heads of the pair of boreholes used. In a case of curved paths of the boreholes, the measured arrival times are corrected according to the real spatial positions of the sources and receivers, thus the resultant section being submitted



Obr. 3 Seismické prosvěcování z čelby štoly: porušené horniny jsou vyznačeny tmavými odstíny modro-fialové, cihlově červené značky jsou pozice snímačů v bezpečnostním předvrtnu

Fig. 3 Seismic tomography from gallery excavation face: fractured rock marked by dark shades of blue-violet, brick red marks show positions of sensors in the safety borehole ahead of the face

maného úseku s přihlédnutím k makroskopickému popisu jádrového vrtu a kamerové prohlídce vrtu. Touto rajonizací byly vymezeny nejvýznamnější zjištěné poruchové zóny s možností výskytu krasových jevů a otevřených, často zvodnělých puklin. V případě nepříznivých geotechnických podmínek mohla být operativně upravována technologie ražby.

## 6. PRESIOMETRICKÉ VĚJÍŘE Z PRŮZKUMNÝCH ŠTOL

V rámci prováděného geotechnického průzkumu byla ve vrtech vedených do okolí průzkumné štoly realizována presiometrická měření na celkem devíti radiálních vějířích. Jednotlivé vějíře byly sestaveny vždy ze čtyř vrtů se základní geometrií vrtů strop/dno/pravý bok/levý bok. Vrtové vějíře byly realizovány průběžně s postupem ražby průzkumné štoly. Po provedení zkoušek a zpřístupnění vrtového profilu byla ve všech vrtech vějířů provedena a následně vyhodnocena vrtová georadarová měření, seismokarotáž a seismické prosvěcování mezi vrty. Seismické prosvěcování mezi vrty pro presiometrické zkoušky bylo realizováno na každém vějíři ve čtyřech řezech daných dvojicí vrtů, mezi nimiž bylo tomografické měření realizováno. Celková metráž vrtů na jednotlivém vějíři činila vždy 60 m. Některé vějíře bylo nutné z technických důvodů

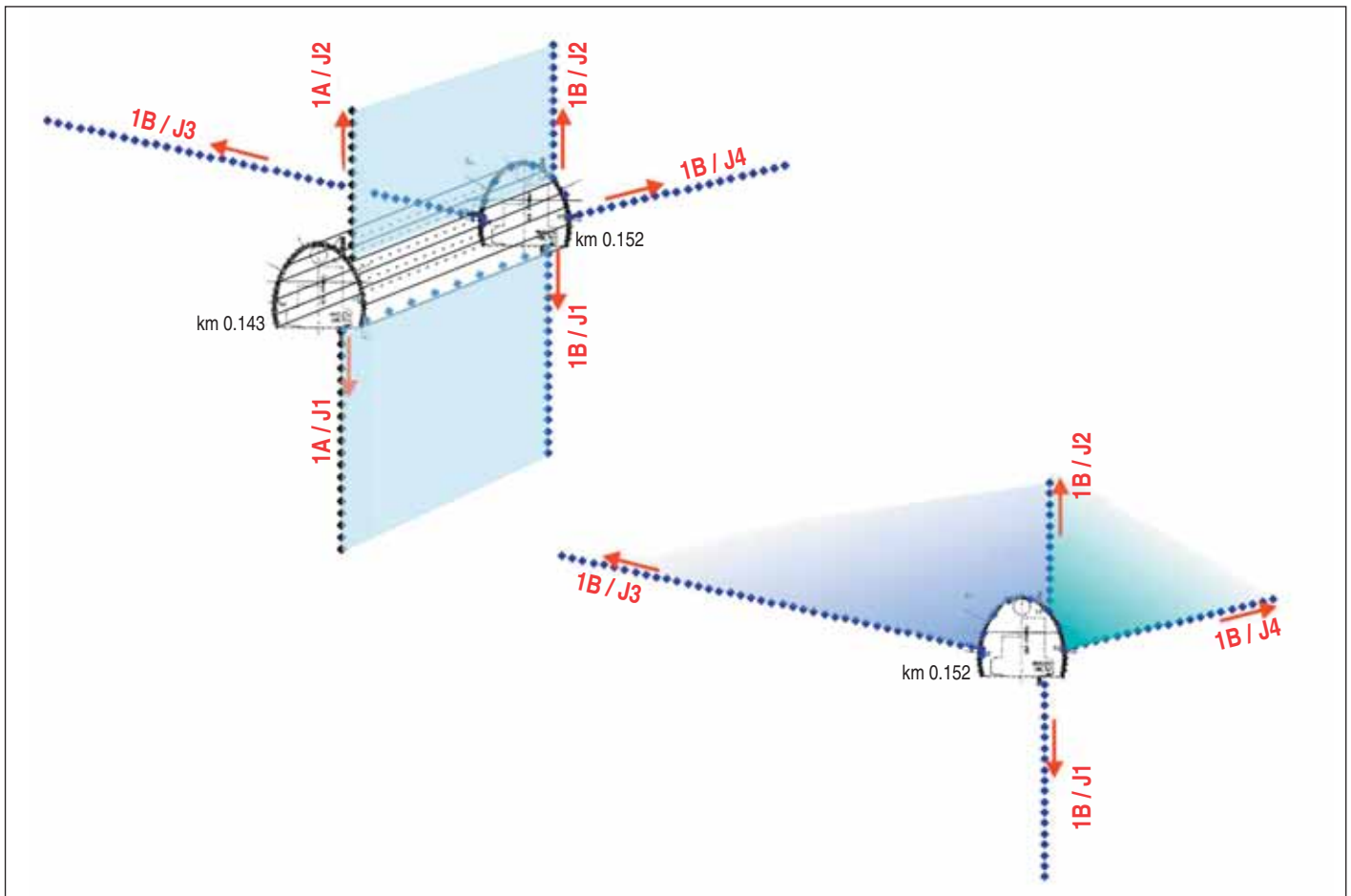
can be considered as projection of a general measurement plane to the inset plane.

## 5. SAFETY CORED HOLES BORED FROM GALLERY EXCAVATION FACE

Measurements in the safety cored holes bored ahead of excavation face were expanded by adding seismic tomography at excavation faces, which is able, in contrast to seismic logging measurements, to capture aerial distribution of possible failures and karst phenomena. The data obtained by seismic logging is, in addition, implemented into the areal measurement. The resultant section has mostly the shape of an isosceles triangle with the altitude corresponding to the borehole length and with the base at the gallery excavation face.

Measurements in the exploratory gallery for the Radlice Radial Road were conducted on the basis of requirements of the geotechnical investigation and representatives of the contractor for excavation immediately after completion of the holes bored ahead of the excavation face. The cored boreholes ahead of the face were 20 up to 30m long. They were carried out at an upward gradient so that they captured possible fractures in the top heading and





Obr. 4 Seismické prosvěcování na presiometrických vějířích s vyznačenými rovinami vybraných seismických řezů  
 Fig. 4 Seismic tomography on pressuremeter fans with planes of selected seismic sections marked in it

modifikovat, a tak byla přizpůsobena i geometrie prováděných seismických měření. Na obr. 4 je uvedena ukázková geometrie standardního i modifikovaného měření na vrtných vějířích.

Porovnání seismických řezů s výsledky presiometrických měření umožnilo zjištění bodové pevnostní a deformační charakteristiky horninového prostředí interpolovat v ploše řezu mezi vrty presiometrického vějíře. V tab. 1 jsou uvedeny typy hornin zastížené průzkumnou štolou s přiřazenými rychlostmi šíření seismických vln.

Výsledky seismické tomografie na presiometrických vějířích byly prezentovány ve formě tomografických rychlostních řezů. Na základě geofyzikálních měření ve vrtech presiometrických vějířů byla stanovena základní rajonizace horninového prostředí ve stanovených řezech a rovinách v okolí vrtů. Na obr. 5 je uveden příklad výstupu z měření na vrtných vějířích.

Tab. 1 Rychlosti šíření seismických vln pro seismickou tomografii mezi vrty ze štoly

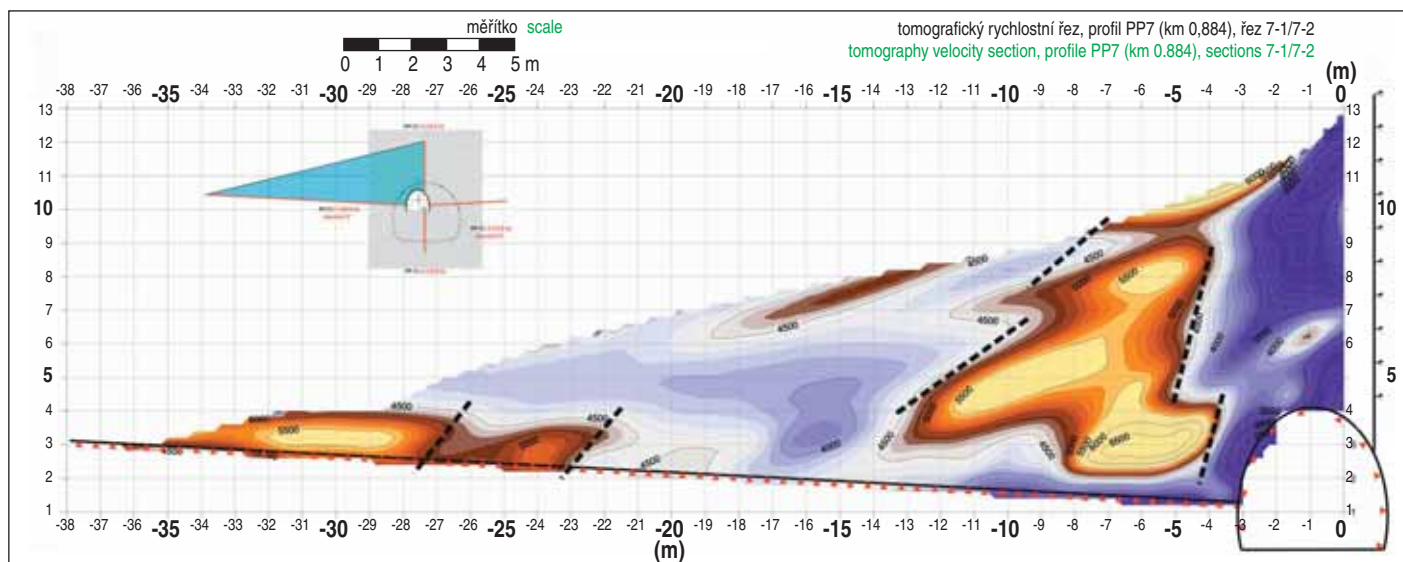
rychlost seismických vln	hodnota (m/s)	horninový typ
velmi nízká	≤2000	břidlice zvětralé s velmi vysokou hustotou diskontinuit
nízká	2000–3500	břidlice zdravé s vysokou hustotou diskontinuit
střední	3000–5000	vápence kompaktní s vysokou hustotou diskontinuit, vápence porušené vlivem ražby a vrtacích prací
vysoká	≥5000	vápence kompaktní se střední až nízkou hustotou diskontinuit

overburden of the exploratory gallery with the greatest potential for negatively affecting the excavation stability. Geophysical measurements using seismic tomography and a borehole ground-penetrating radar were conducted in those boreholes. The results were continuously submitted to the construction site within 16 hours from the start of the measurements.

The geophysical measurements in the hole bored ahead of the exploratory gallery excavation face (see Fig. 3) provided the basis for determination of basic zoning (rajonisation) of the section being analysed taking into consideration the macroscopic description of the cored borehole and camera inspection of the borehole (see Fig. 3). The zoning (rajonisation) was used for delimitation of most important fracturing zones with the possibility of occurrence of karst phenomena and open, often water-bearing, fissures. In a case of unfavourable geotechnical conditions, it was possible to operatively modify the excavation technique.

## 6. PRESSUREMETER FANS FROM EXPLORATORY GALLERIES

Pressuremeter measurements were carried out on the total of nine radial fans within the framework of the geotechnical investigation in boreholes carried out into the exploratory gallery surroundings. Each of the individual fans was assembled from four boreholes with the following basic geometry sequence: roof/bottom/right-hand side/ left-hand side. The borehole fans were carried out continuously along with the advancing excavation of the exploratory gallery. GPR borehole measurements, seismic logging and seismic tomography between boreholes were carried out in all boreholes



Obr. 5 Seismické prosvěcování na presiometrických vějířích: porušené horniny jsou vyznačeny tmavými odstíny modro-fialové, cihlově červené značky jsou pozice snímačů ve vrtech a v ostění štoly, ve vrtu bez značek byl umístěn seismický zdroj, čárkované linie představují hranice kvazi-homogenních celků a poruchové zóny  
Fig. 5 Seismic tomography on pressuremeter fans: fractured rock marked by dark shades of blue-violet, brick red marks show positions of sensors in boreholes and gallery lining; seismic source was installed in the borehole without marks; dashed lines represent borders of quasi-homogeneous blocks and fault zones

## 7. PRŮZKUMNÉ VRTY ZE ŠTOLY

Průzkumné vrty byly vrtány ze štoly severní tunelové trouby (STT) do oblasti jižního tunelu a do oblasti severního tunelu za koncem průzkumné štoly a ze štoly jižní tunelové trouby (JTT) do oblasti jižního tunelu za koncem průzkumné štoly. Všechny vrty byly v souladu s projektem průzkumných prací využity také k provedení geofyzikálního průzkumu. Postup prací a rozšíření průzkumu o štolu v trase JTT otevřely další možnosti využití seismické tomografie. Nově tak bylo možné realizovat prosvěcování nejen mezi průzkumnými vrty, ale i mezi vrty a štolou nebo mezi oběma štolami.

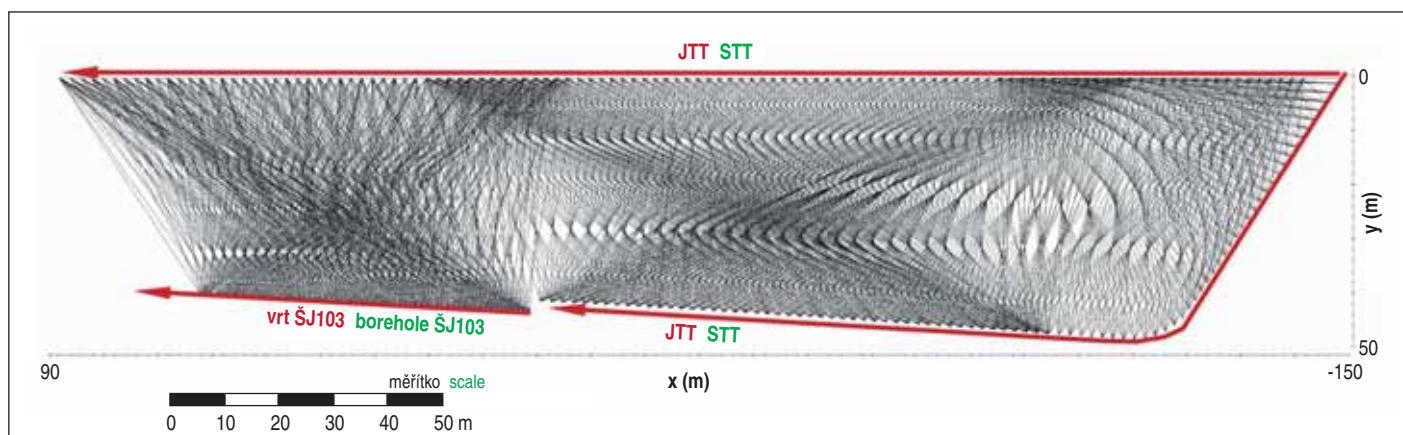
Rozšíření průzkumu o prosvěcování mezi oběma štolami a vrtem a štolou si vyžádalo úpravu technologie prováděných průzkumných prací včetně instrumentace horizontálních geofonů do stěny štoly a zajištění kabelového propojení mezi pracovišti v jednotlivých štolách STT a JTT (obr. 6).

Rozložení rychlostí v získaných tomografických řezech bylo ovlivněno poměrným zastoupením jednotlivých hornin v rovině řezu, prostorovými parametry vrstev a poruch a zejména jejich orientací vůči drahám sledovaných seismických paprsků. V místech snížených rychlostí bylo indikováno vyšší zastoupení rozpukaných

making up the fans and subsequently assessed after completion of the tests and making the drilling profile accessible. Seismic tomography between boreholes for pressuremeter tests was carried out on each fan in four sections determined by a pair of boreholes between which the tomography measurements were conducted. The total length of the boreholes forming individual fans always amounted to 60m. Some fans had to be modified for technical reasons, therefore the geometry of the seismic measurements

Table 1 Velocities of seismic wave propagation for seismic tomography between boreholes from the gallery

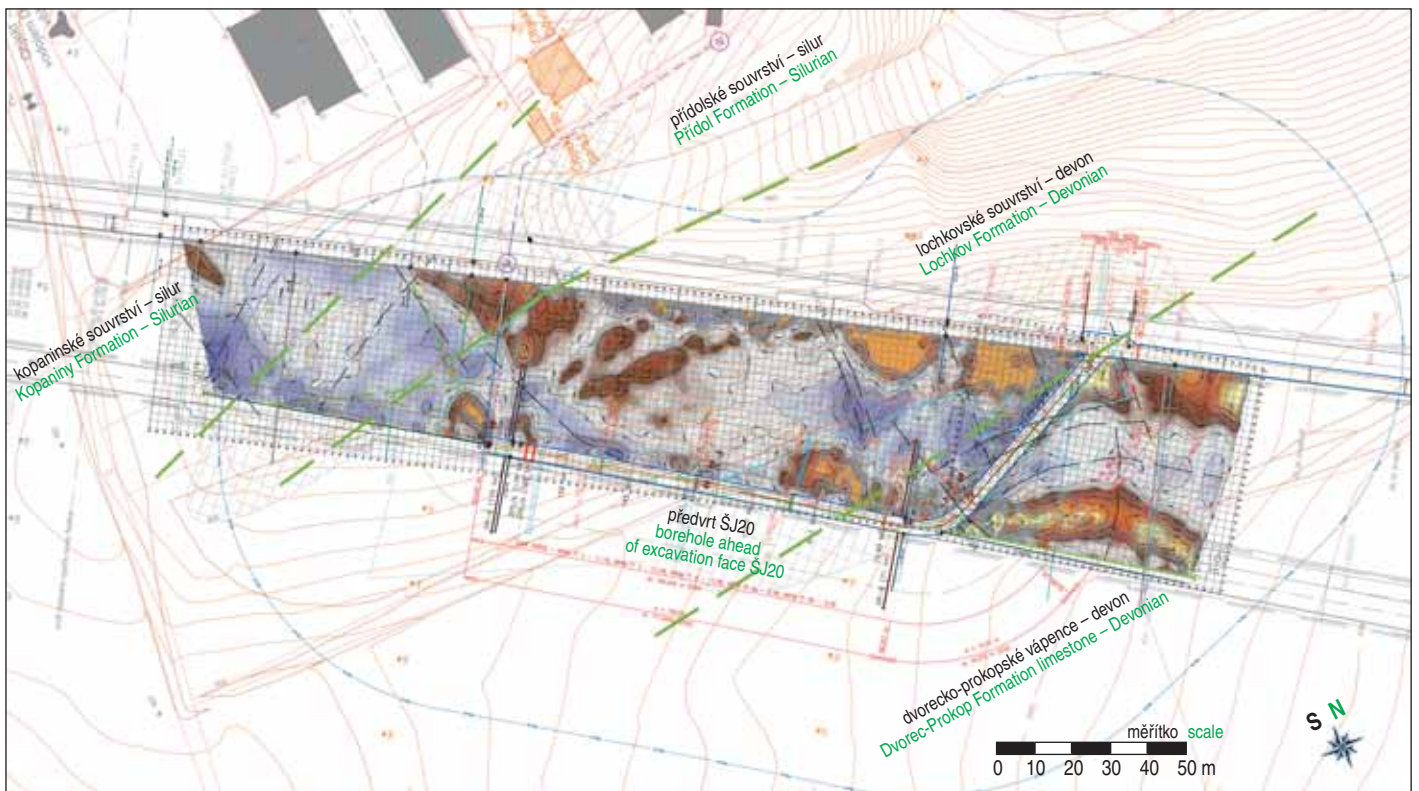
velocity of seismic waves	value (m/s)	rock type
very low	$\leq 2000$	weathered shale with very close spacing of discontinuities
low	2000–3500	fresh shale with close joint spacing
medium	3000–5000	compact limestone with close joint spacing; limestone fractured by the effect of excavation and blasting
high	$\geq 5000$	compact limestone with medium to low joint spacing



Obr. 6 Rozšíření možností seismické tomografie: vyznačení hustoty dat v řezu – schéma geometrie prosvěcování mezi vrtem ŠJ103 a štolou v trase STT a štolami v trase JTT/STT

Fig. 6 Expansion of possibilities of seismic tomography: marking of data density in the section – chart of tomography geometry between borehole ŠJ103 and the gallery on the NTT alignment and galleries on the STT/NTT alignment





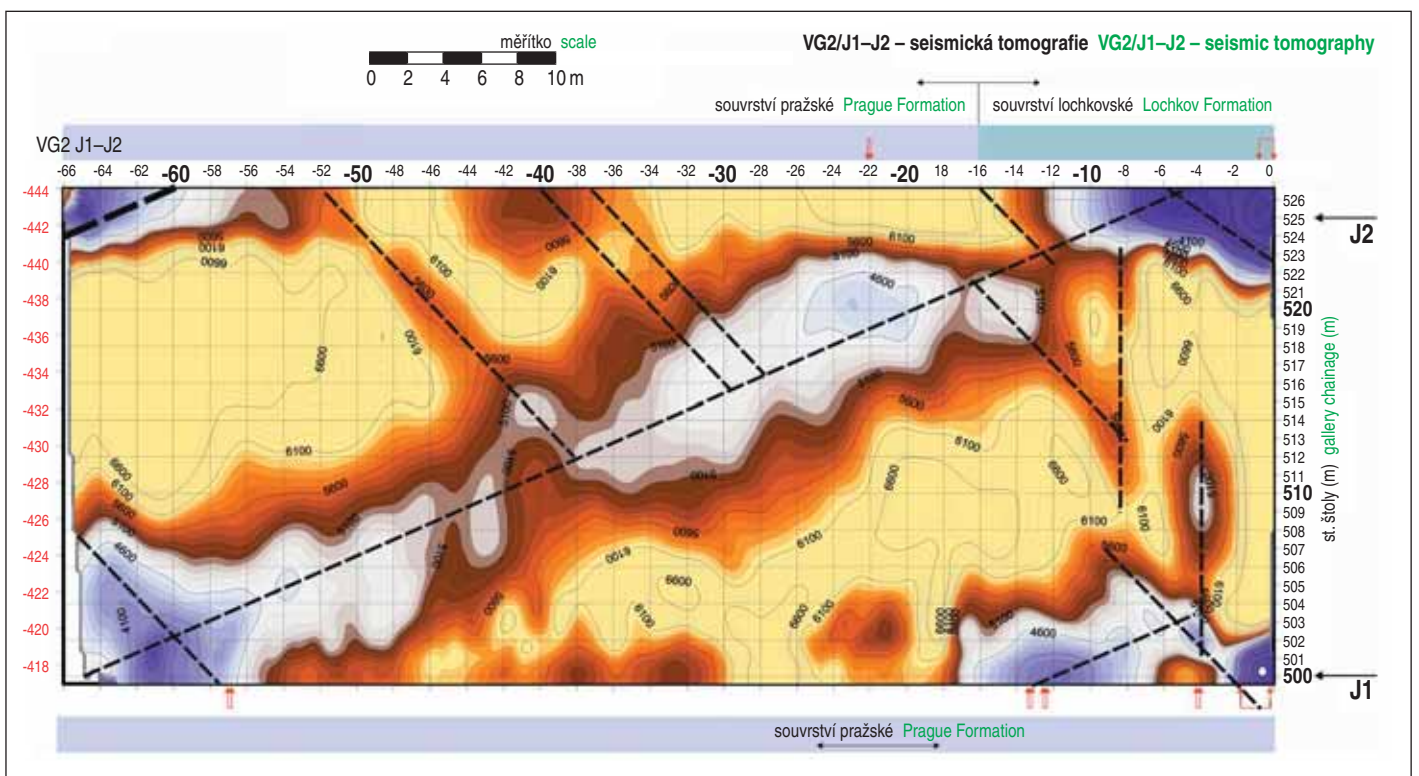
Obr. 7 Rozšíření možností seismické tomografie: výsledné řezy v rovině vymezené oběma štolami s distribucí rychlosti šíření v délce až 285 m

Fig. 7 Expansion of possibilities of seismic tomography: resultant sections in the plane delimited by both galleries, with distribution of velocity of length of up to 285m

pevných hornin (vápenců). Snížené rychlosti se rovněž vyskytovaly v místech litologických změn (polohy břidlic) a v místech přechodu mezi jednotlivými kvazihomogenními bloky hornin. Vysoké rychlosti šíření seismických vln ( $4000\text{--}6500\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) ukazovaly na částečnou hydrotermální metamorfózu zastižených vápenců, což odpovídalo geologické dokumentaci vrtných jader.

had also to be adapted. Exemplary geometry of the standard and modified measurements on borehole fans is presented in Fig. 4.

The comparison of seismic sections with results of pressuremeter measurements allowed for interpolation of the determined point strength and deformational characteristics of the rock environment



Obr. 8 Seismická tomografie mezi průzkumnými vrti J1 a J2

Fig. 8 Seismic tomography between exploratory boreholes J1 and J2



Průzkumné vrty byly prováděny z koncových čeleb obou štol ve směru a v případě JTT i proti směru ražby a na vrtných profilech kolmo ke směru ražby. Vrty dosahovaly délek 60–75 m, jejich vzdálenost na vrtných profilech činila kolem 30 m. Výsledné řezy tak představovaly plošnou mapu v rovině vymezené oběma štolami s distribucí rychlosti šíření v délce 285 m. V takto vymezené oblasti bylo možné na základě poznatků z popisu vrtů stanovit přesnější vymezení bloků jednotlivých hornin včetně jejich případného tektonického omezení (obr. 7).

Prosvěcování bylo realizováno vždy minimálně mezi dvojicemi vrtů, které tak vymezovaly roviny řezů. V případě vrtů do boků štol se jednalo o řezy vedené rovnoběžně s rovinou počvy štol. U vrtů vedených úpadně do dna štol byl výsledný rychlostní řez orientován v obecné rovině zapadající šikmo pod dno štol ve směru vrtů. Rozměry těchto plošných řezů byly dány délkou vrtů a vzdáleností mezi nimi a dosáhly velikosti až 30×70 m. I v těchto řezech byly vymezeny bloky jednotlivých hornin včetně tektonického omezení (obr. 8).

## 8. GEOFYZIKÁLNÍ MĚŘENÍ Z PRŮZKUMNÝCH ŠTOL PO JEJICH VYRAŽENÍ

Po ukončení ražby průzkumných štol v trase STT i JTT byla postupně v obou průzkumných štolách prováděna geofyzikální měření sestávající ze seismické profilové tomografie, georadaru a mikrogravimetrie.

Georadarová a seismická měření byla zpracována do formy podélných řezů. Gravimetrická měření byla spočtena a prezentována jako modifikované Bouguerovy tíhové anomálie.

Seismická tomografická profily byly vedeny dnem v ose štol a ve štolě STT v pravém jižním boku (směrem k JTT) a ve stropě štol. Úsek měřený ve stropě štol byl vytipován na základě shody

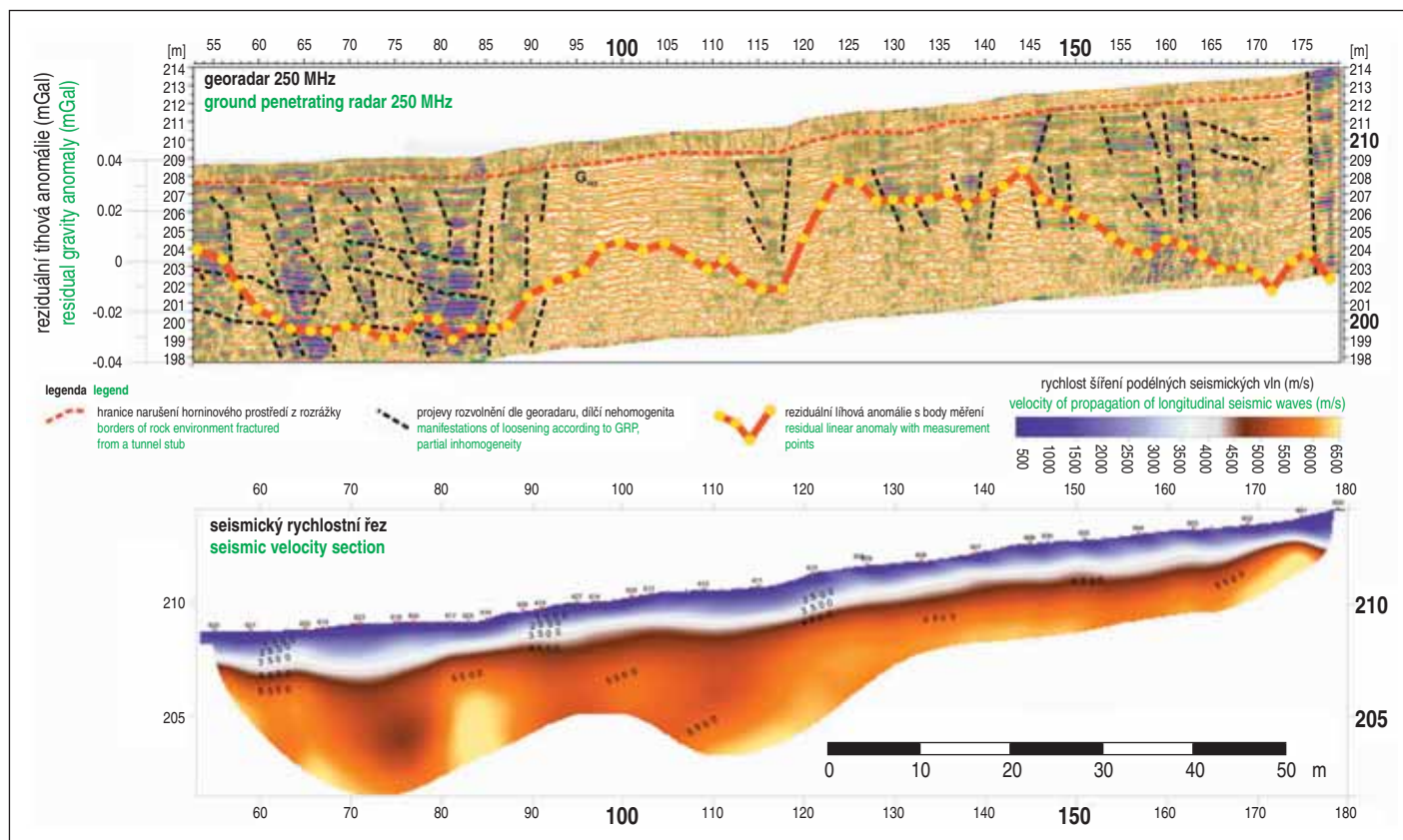
on the section plane between pressuremeter fan boreholes. The Table 1 presents the rock types encountered by the exploratory gallery with the velocity of seismic wave propagation attributed to them.

The results of the seismic tomography on pressuremeter fans were presented in the form of tomography velocity sections. Basic zoning (rajonisation) of the rock environment in the sections and planes in the surroundings of the boreholes was determined on the basis of geophysical measurements in the boreholes forming the pressuremeter fans. An example of the output from measurements on borehole fans is presented in Fig. 5.

## 7. EXPLORATORY BOREHOLES FROM THE GALLERY

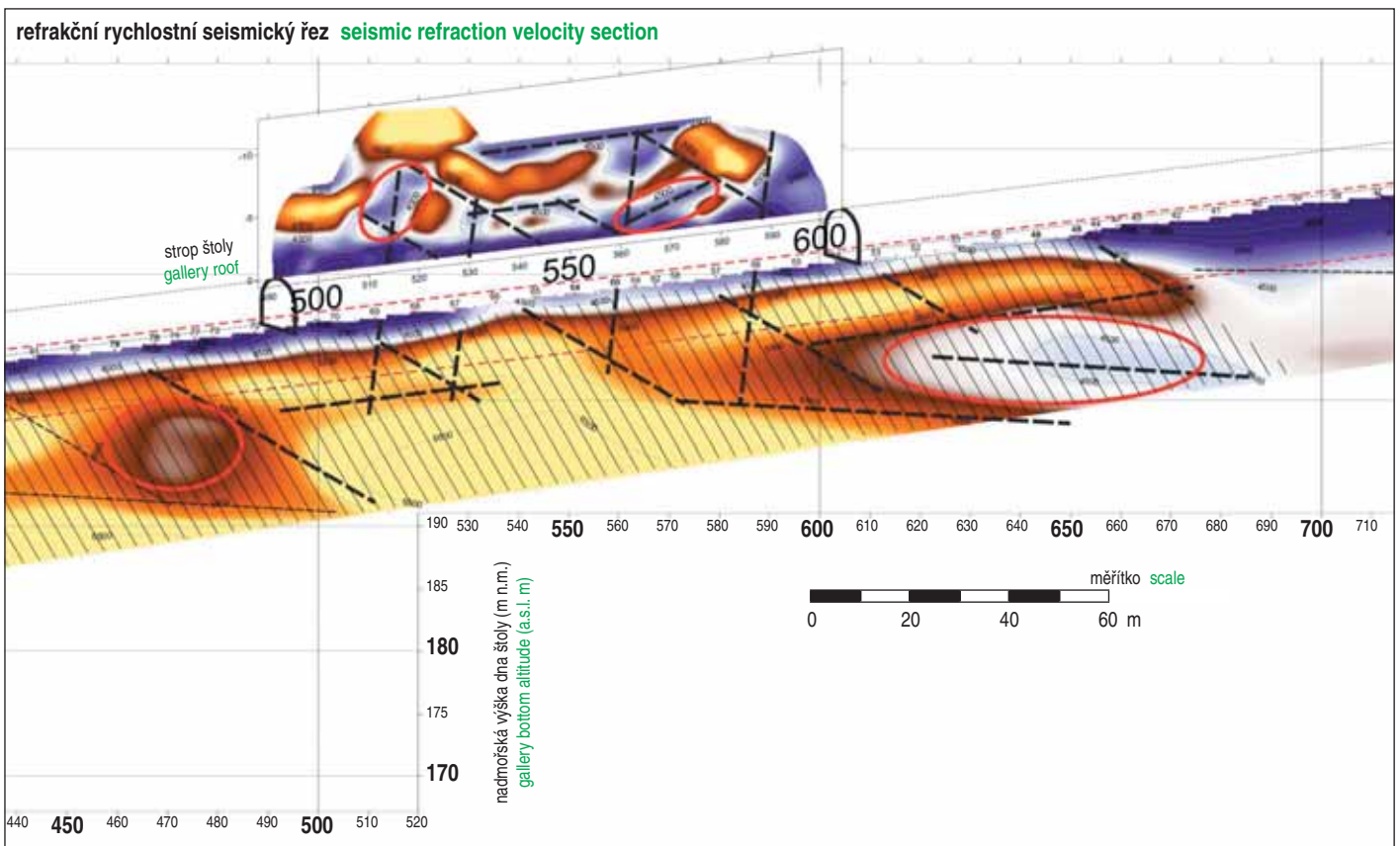
The exploratory boreholes were carried out from the gallery for the northern tunnel tube (NTT) into the area of the southern tunnel tube and the area of the northern tunnel tube behind the end of the exploratory gallery and from the gallery for the southern tunnel tube (STT) into the area of the northern tunnel tube behind the end of the exploratory gallery. All boreholes were, in line with the design for exploratory operations, used also for geophysical exploration. The excavation advance and the addition of the gallery on the STT route to the investigation opened other possibilities for the use of seismic tomography. It was newly possible to carry out tomography not only between exploratory boreholes, but even between boreholes and the gallery or between the two galleries.

The addition of the tomography between the two galleries and between the borehole and the gallery to the investigation required modification of the survey technique including installation of survey horizontal geophones into the gallery side wall and ensuring cable connection between workplaces in individual galleries in the NTT and STT (see Fig. 6).



Obr. 9 Georadarová, gravimetrická a seismická měření ze štol: vertikální řezy se zvýšenou odrazivostí v georadarovém signálu v úsecích s lokálním minimem tíhového zrychlení a sníženou rychlostí seismických vln

Fig. 9 GPR, gravimetry and seismic measurements from gallery: vertical sections with increased reflectivity in the GPR signal in sections with local minimum of gravity acceleration and reduced velocity of seismic waves

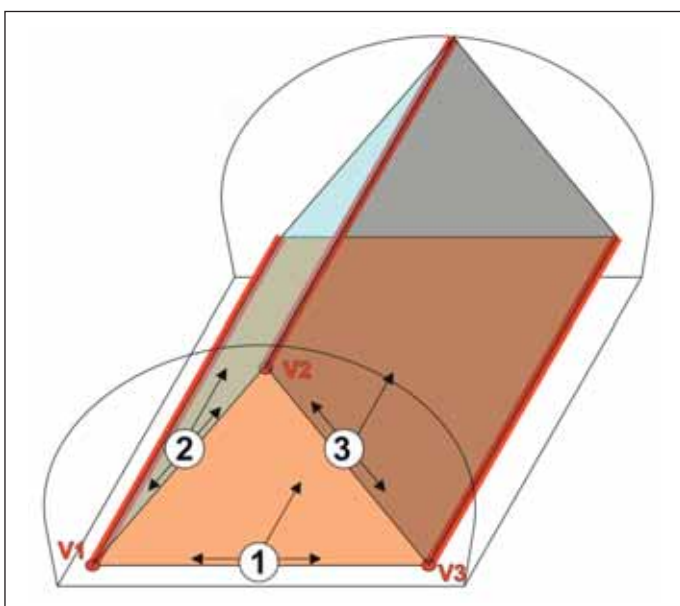


Obr. 10 Podélná seismická měření ve štole STT s výsledným detailním členěním masivu

Fig. 10 Longitudinal seismic measurements in the gallery for the NTT with resultant detailed division of the massif

významných indikací z měření ze štoly i z povrchových měření (obr. 9 a 10).

Výsledky podélných seismických, gravimetrických a geoelektrických měření dokázaly spolehlivě vymezit jednotlivé kvazi-homogenní bloky v extrémně nehomogenním prostředí s náhlými změnami vlastností masivu a detekovat poruchové zóny v pevných horninách, zejména vápencích.



Obr. 11 Možnosti seismického prosvěcování mezi dvojicí či trojicí vrtů z čelby tunelu v geotechnicky složitých a rizikových úsecích (např. při ražbě tunelu pod objekty)

Fig. 11 Possibilities of seismic tomography between a pair or a triplet of boreholes from tunnel excavation face in geotechnically complex and risky sections (e.g. during the course of tunnel excavation under buildings)

The distribution of velocities in the tomography sections obtained was affected by the relative representation of individual rock types in the section plane, by spatial parameters of layers and fractures and, first of all, by their orientation relative to paths of the seismic rays being monitored. Greater representation of fractured hard rock (limestone) was indicated in locations of reduced velocities. Reduced velocities were also encountered in locations of lithological changes (shale layers) and in locations of transition between individual quasi-homogeneous rock blocks. The high velocities of propagation of seismic waves ( $4000\text{--}6500\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) indicated partial metamorphosis of the limestone encountered, corresponding to the geological documentation of the borehole cores.

Exploratory boreholes were carried out from the excavation end faces of both galleries in the direction and, in the case of the STT, even in the direction opposite to the excavation advance and on borehole profiles perpendicularly to the excavation advance. The lengths of the boreholes amounted to  $60\text{--}75\text{m}$ , their spacing on the borehole profiles amounted to ca  $30\text{m}$ . The resultant sections represented a planar map on a plane delimited by the two galleries, with the distribution of velocity of propagation at the length of  $285\text{m}$ . In the area delimited in this way it was possible to determine more accurate delimitation of individual rock blocks including possible tectonic boundary of the blocks on the basis of the knowledge obtained from the description of the boreholes (see Fig. 7).

The tomography was carried out always minimally between pairs of boreholes, which determined the planes of sections in this way. In the case of boreholes into the gallery side walls, the sections were kept in parallel with the gallery bottom plane. In the case of boreholes carried out at a downward gradient into the gallery



## 9. GEOMETRICKÉ MODIFIKACE SEISMICKÉHO PROSVĚCOVÁNÍ

U bezpečnostních jádrových předvrtů lze doporučit nahrazení či doplnění seismokarotáže prosvěcováním v uspořádání „vrt – čelba“. Toto nahrazení se jeví jako účelné do délky předvrtu 20–30 m. Pro větší vzdálenosti je výstupem vždy standardní seismokarotážní rychlostní profil. V blízké zóně od čelby je rozdíl mezi 1D informací z karotáže (rozložení seismických rychlostí v okolí vrtu) a plošnou 2D mapou distribuce seismických rychlostí ve zvolené rovině významný. Prodloužení času nutného k provedení prosvěcování není oproti karotáži zásadní. Výrazným benefitem pro geotechniku může být i možnost určení roviny řezu dle převažujících směrů poruch či geologické situace.

Měření vrtných vějířů představuje možnost navázání rychlostí šíření seismických vln na další geotechnické parametry a dovoluje usuzovat na plošnou distribuci geotechnických parametrů dle mapy získané ze seismických tomografických měření.

V geotechnicky složitých a rizikových úsecích, např. při ražbě tunelu pod objekty, je vhodnou variantou seismického prosvěcová-

bottom, the resultant velocity section was oriented in a general plane dipping at an angle under the gallery bottom in the direction of the boreholes. The dimensions of the horizontal sections were given by the length of boreholes and distances between them and reached the size up to 30×70m. Blocks of individual rock types including tectonic limitation (see Fig. 8) were determined even on these sections.

## 8. GEOPHYSICAL MEASUREMENTS FROM EXPLORATORY GALLERIES AFTER COMPLETION OF EXCAVATION

Geophysical measurements comprising seismic profile tomography, ground penetrating radar and microgravity survey were gradually carried out in both exploratory galleries on the NTT and STT routes after completion of the excavation.

The GPR and seismic measurements were processed into the form of longitudinal sections. The gravimetry measurements were computed and presented as a modification of Bouguer gravity anomalies.

Seismic tomography profiles were led through the bottom on the gallery centre line and, in the gallery of the NTT, on the right-hand southern sidewall (in the direction of the STT) and in the gallery roof. The section measured in the gallery roof was tipped on the basis of an agreement of significant indications from measurements from the gallery with surface measurements (see Figures 9 and 10).

Results of the longitudinal seismic, gravimetric and geoelectrical measurements managed to reliably delimit individual quasi-homogeneous blocks in extremely non-homogeneous environment with abrupt changes in the massif properties and detect fault zones in strong rock types, first of all limestone.

## 9. GEOMETRIC MODIFICATIONS OF SEISMIC TOMOGRAPHY

In the case of the safety cored holes ahead of excavation face it is possible to recommend substitution or adding the seismic logging to the tomography in the “borehole – excavation face” arrangement. This substitution appears to be reasonable up to the length of the advance borehole of 20–30m. For greater distances, the output has always the form of seismic logging curve. At a close distance from the excavation face, the difference between 1D information from logging (distribution of seismic velocities in the borehole surroundings) and the areal 2D map of distribution of seismic velocities in a selected plane is significant. Extension of the time necessary for execution of tomography in comparison with the logging is not fundamental. A possibility of determination of the section plane according to prevailing trends of faults or geological situation can also be a significant benefit for a geotechnical engineer.

Measurement of borehole fans represents a possibility of linking the propagation velocities to other geotechnical parameters and allows for reasoning that there is planar distribution of geotechnical parameters corresponding to the map obtained from seismic tomography measurements.

In geotechnically complicated and risky areas, e.g. during tunnel excavation under buildings, a suitable variant of seismic tomography is application of a modification of measurement between a pair or triplet of holes bored from the tunnel excavation face, with creation of more tomography sections (see Fig. 11).

Geophysical measurements in combination of surface longitudinal measurements with measurement in exploratory boreholes and galleries allow for purposeful spatial modifications, which



Obr. 12 Fotografie pořízené při kamerové dokumentaci vrtů: horní obrázek představuje zastížené zkrasování, dolní je záznamem ze zvodnělého vrtu v místě přítoku vody do vrtu z otevřené pukliny

Fig. 12 Photographs provided during camera documentation of boreholes: upper picture represents karstification, lower picture is a record from water-bearing borehole in the location of water inflow from an open fissure

ní modifikace měření mezi dvojicí či trojicí vrtů vedených z čelby tunelu s vytvořením více tomografických řezů (obr. 11).

Geofyzikální měření v kombinaci povrchových podélných měření s měřením v průzkumných vrtech a štolách dovolují účelné prostorové modifikace, které mohou přinést výrazně vyšší množství informací potřebných pro hodnocení složitých geologických poměrů zejména ve složitém prostředí městské zástavby. Pro plné využití možností geofyzikálních metod pro účely geotechnického průzkumu je nutná spolupráce mezi geologem/geotechnikem, zhotovitelem geofyzikálních prací i zhotovitelem podzemního díla.

Jako účelná se ukázala i kombinace georadarového měření ve vrtech a provádění kamerových prohlídek vrtů. Kamerová prohlídka vrtu dovoluje eliminovat nepřesnosti dokumentací vrtného jádra vzniklé v důsledku manipulací s jádrem v průběhu vrtání, při jeho ukládání, nebo při jeho převozu. Dále je možné si díky kamerové prohlídce udělat představu o stavu horniny in situ, je možné přesně určit místa případných přítoků vody do vrtu, ověřit rozsah zastížených krasových jevů atd.

Na obr. 12 jsou uvedeny jako ukázka z kamerových prohlídek některé zastížené pukliny a krasové jevy z prezentovaného průzkumu Radlické radiály.

## 10. ZÁVĚR

Provedené průzkumné práce značně rozšířily poznatky o geologických poměrech a geotechnických vlastnostech horninového masivu, které budou zastíženy při stavbě dvou tunelových tubusů velkých silničních tunelů. Důležitou informací z geofyzikálních seismických a georadarových měření jsou rozsah a míra porušení horninového masivu v okolí podzemního díla vlivem použitého způsobu jeho rozpojování označovaná jako EDZ (excavation damage zone). Již v průběhu průzkumných prací na čelbě docházelo k důležitým zjištěním, která si vyžádala úpravy technologie ražby a zajištění výrubu průzkumné štoly. Pro geofyzika je nutný odborný prostor, aby mohl účelně navrhnout, případně modifikovat a realizovat jednotlivé metody a způsoby získávání dat v rámci projektu a sjednaných prostředků. V daném případě operativní přístup a spolupráce mezi zhotovitelem průzkumu a stavbou umožnily efektivně využít možnosti jednotlivých metodik průzkumu. Nově zjištěné poznatky napomohly k řešení otázek a problémů, jejichž existenci nebylo možné v době přípravy geotechnického průzkumu odhadnout.

**Mgr. RADEK ZELENÝ, zeleny.radek@inset.com,**

**Mgr. DAVID FILIPSKÝ, filipsky.david@inset.com,**

**Mgr. TOMÁŠ CHABR, chabr.tomas@inset.com, INSET s.r.o.**

*Recenzoval Reviewed: Ing. Jaromír Augusta, Ph.D.*

can bring significantly higher amount of information required for assessing complicated geological conditions, first of all in a complex environment of an urban development. Collaboration among geologist/geotechnical engineer, contractor for geophysical work and contractor for underground construction is necessary for full use of possibilities of geophysical methods.

A combination of GPR measurements in boreholes and conducting camera inspections of boreholes turned out to be useful. Camera inspection of a borehole allows for eliminating inaccuracies in documentation of a borehole core originating as a result of manipulation with the core during the course of drilling, placing it into boxes or its transportation. In addition, it is possible owing to the camera inspection to get an idea of the state of the ground in situ; it is possible to exactly determine locations of possible inflows of water into the borehole, to verify the extent of karst phenomena encountered etc.

Some fissures and karst phenomena from the Radlice Radial Road investigation are presented in Fig. 12 as examples from camera inspections.

## 10. CONCLUSION

The survey and investigation work significantly expanded the knowledge about geological conditions and geotechnical properties of the rock massif which will be encountered during the course of excavation of two tubes of large road tunnels. The extent and rate of damage to the rock massif in the underground working surroundings resulting from the technique applied to its disintegration, referred to as the EDZ (Excavation Damage Zone), is important information from geophysical seismic and GPR measurements. Significant findings requiring modification of the excavation technique and support of the exploratory gallery excavation appeared already during the course of exploratory operations at the excavation face. A geophysicist needs a professional space to be able to purposefully propose or modify and implement individual methods and techniques of gathering data within the framework of the project and approved resources. In this particular case, the operative attitude and collaboration between the contractor for investigation and the construction management allowed for effective using of possibilities of individual investigation methodologies. Newly obtained findings helped to solve the issues and problems the existence of which could not be guessed at the time of preparation of the geotechnical investigation.

**Mgr. RADEK ZELENÝ, zeleny.radek@inset.com,**

**Mgr. DAVID FILIPSKÝ, filipsky.david@inset.com,**

**Mgr. TOMÁŠ CHABR, chabr.tomas@inset.com, INSET s.r.o.**

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] CHMELAŘ, R., SÍLA, L., TŮMA, P., BŘEZINA, B. Poznatky z inženýrsko-geologického průzkumu pro tunel Radlice. *Tunel*, č. 1/2016, s. 40–50
- [2] *Radlická radiála JZM – Smíchov, stavba 9567, tunel Radlice – Podrobný inženýrskogeologický průzkum*, Díl I. *Průzkum pro tunely Radlice realizovaný z průzkumné štoly. Závěrečná zpráva z geofyzikálního měření (INSET s.r.o.) in ZZ IGP. Praha: PŮDIS a.s., 2017.*
- [3] *Radlická radiála JZM – Smíchov, stavba 9567, tunel Radlice – Podrobný inženýrskogeologický průzkum*, Díl II. *Průzkum pro celou trasu Radlické radiály realizovaný z povrchu terénu. Závěrečná zpráva z geofyzikálního měření (INSET s.r.o.) in ZZ IGP. Praha: PŮDIS a.s., 2017.*
- [4] ZELENÝ, R., GRINČ, M., FILIPSKÝ, D. *Geofyzikální měření v předvrtech a seismické prosvěcování z podzemních staveb*. In e-sborník *Tunely a podzemní stavby 2018*



# GEOTECHNICKÝ MONITORING PŘI HLOUBENÍ ŠACHTY A RAŽBĚ KABELOVÉHO TUNELU INVALIDOVNA

## GEOTECHNICAL MONITORING DURING SINKING OF SHAFT AND EXCAVATION OF INVALIDOVNA CABLE TUNNEL

MIROSLAV MIXA, JIŘÍ KOŠTÁL

### ABSTRAKT

Výstavba 527 m dlouhého kabelového tunelu Invalidovna společnosti Pražská energetika a.s. v pražském Karlíně započala v létě roku 2019 a dosud probíhá. Tunel je ražen konvenčně Novou rakouskou tunelovací metodou. V předstihu před samotnou ražbou kabelového tunelu byl v zóně ovlivnění stavbou osazen monitorovací systém měření geotechnického monitoringu. Ten byl tvořen zejména sítí nivelačních bodů, do horninového masivu nad kalotu tunelu byl instalován jeden extenzometr a byla provedena důkladná pasportizace povrchu, inženýrských sítí i veškerých objektů v poklesové kotlině. V průběhu hloubení šachty i ražení štoly pak byla využita široká škála dalších měření, která jsou standardní součástí geotechnického monitoringu konvenčně ražených podzemních staveb. Příspěvek si klade za cíl shrnout výsledky dosavadního geotechnického monitoringu, geologického dozoru a seznámit čtenáře s podzemním dílem kabelového tunelu Invalidovna, budovaným v podmínkách městské zástavby.

### ABSTRACT

The construction of the 527m long Invalidovna cable tunnel of the company of Pražská Energetika a.s. in the Prague district of Karlín commenced in the summer of 2019 and still continues. The tunnel is being excavated conventionally using the New Austrian Tunnelling Method. The monitoring system was installed in the zone to be affected by the construction in advance of the cable tunnel excavation. It was formed first of all by a network of levelling points, one extensometer installed in the ground massif above the tunnel top heading and a thorough condition survey of the terrain surface, utility networks and all structures within the settlement trough. A wide range of other measurements, forming a standard part of geotechnical monitoring of conventionally excavated underground structures, was conducted during the shaft sinking process. The paper aims to summarise the results of the geotechnical monitoring conducted so far and the geological supervision and informs readers about the underground construction of the Invalidovna cable tunnel carried out in the conditions of urban development.

### 1. ÚVOD

V rámci rozšiřování a propojení stávající sítě kabelových tunelů (KT) společnosti PREdistribuce, a.s. se začalo v loňském roce s výstavbou dvou ražených tunelů, a to konkrétně s KT Karlín úsek mezi šachtami J34 a J33 a KT Invalidovna. Primární funkcí nově vznikajících staveb je vedení kabelů vysokého napětí 110 kV a 22 kV. Výstavba části kabelového tunelu Invalidovna, situovaného pod komunikací Rohanské nábřeží poblíž barokního objektu pražské Invalidovny, kterému se příspěvek věnuje, začala v květnu roku 2019. Investorem akce je společnost PREdistribuce, a.s. (PREdi), generálním dodavatelem stavby je společnost PRAGIS a.s., projekční práce realizovala projekční a inženýrská kancelář KO-KA s.r.o., zhotovitelem geotechnického monitoringu je společnost INSET s.r.o.

### 2. POPIS ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ DÍLA

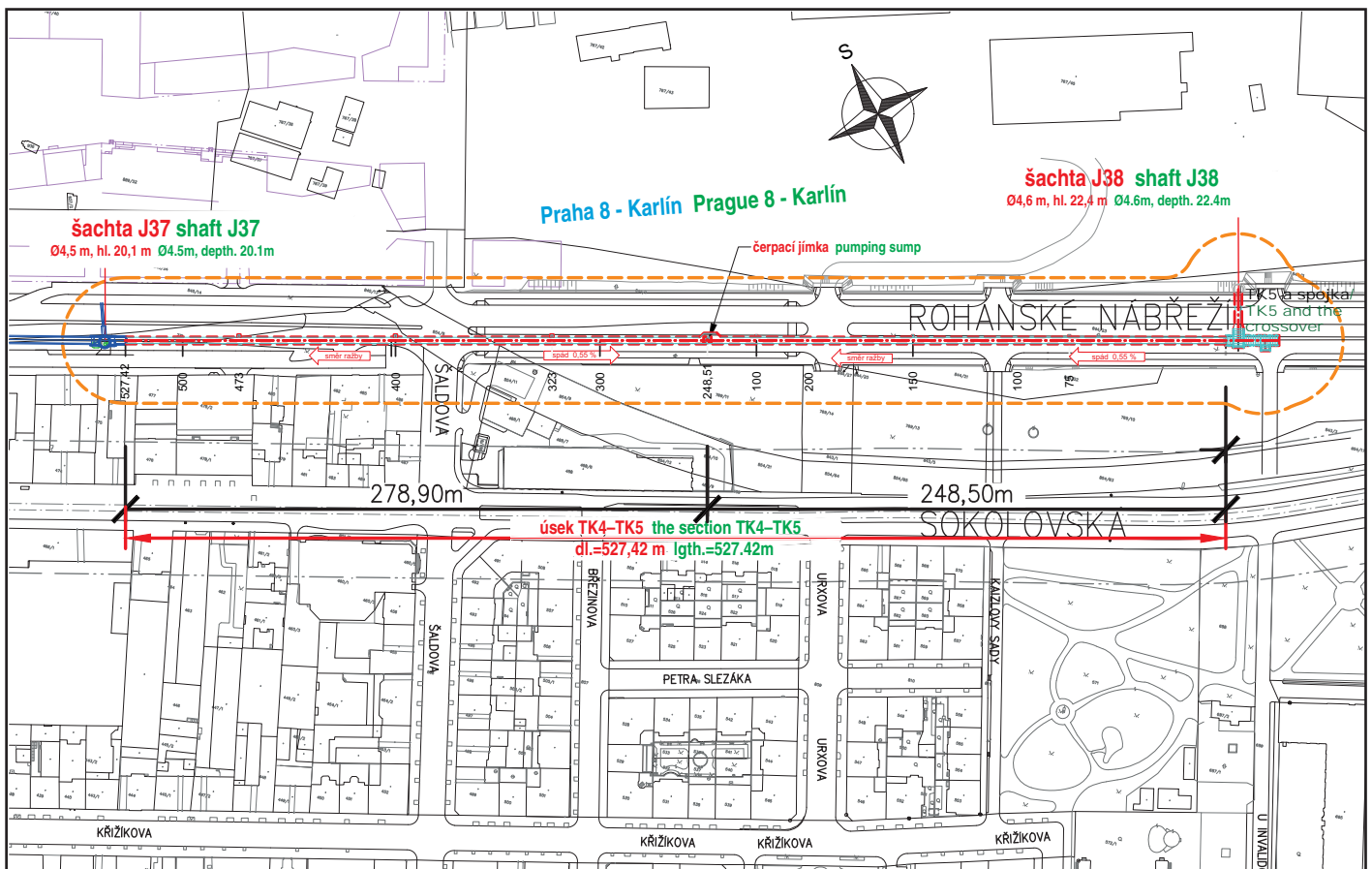
KT Invalidovna je tvořen jednou hloubenou šachtou s označením J38, technickou propojovací štolou P1 délky 16,4 m, přechodovým úsekem do technické komory TK5 délky 2,9 m, technickou komorou s označením TK5-1, přechodovým úsekem do vlastní tunelové trouby TK5-2 o délce 3,7 m a vlastní tunelovou trasou délky 527,4 m (obr. 1). Ražba i primární výztuž jsou prováděny podle zásad Nové rakouské tunelovací metody (NRTM). V první etapě stavby byla vyhloubena šachta J38 na kótu 163,9 m n. m. (cca 22,4 m pod úroveň terénu). Následně byla vyražena propojující chodba mezi šachtou a technickou komorou spojující hlavní tunelovou trasu kabelového tunelu. K prorážce hlavní tunelové

### 1. INTRODUCTION

The construction of the two mined cable tunnels (CT), specifically the Karlín CT section between shafts J34 and J33 and the Invalidovna CT, commenced last year within the framework of the expansion and linking of the existing network of cable tunnels (CT) operated by the company of PREdistribuce, a.s. The primary function of the newly originating structures is to allow leading of 110kV and 22kV high tension cables. The construction of the Invalidovna cable tunnel, located under the Rohanský Ostrov embankment road near the Baroque building of Prague Invalidovna (Hotel des Invalides) to which the paper is devoted, commenced in May 2019. The project owner is the company of PREdistribuce, a.s. (PREdi), the general contractor is the company of PRAGIS a.s., the design was carried out by the designing and engineering company of KO-KA s.r.o. and the contractor for geotechnical monitoring is the company of INSET s.r.o.

### 2. DESCRIPTION OF BASIC CONSTRUCTION PARAMETERS

The Invalidovna cable tunnel is formed by one sunk shaft denoted as J38, a 16.4m long technical linking gallery P1, a 2.9m long transition section leading to TK5 utility chamber, utility chamber denoted as TK5-1 and a 3.7m long transition section. The excavation including the primary lining is carried out according to principles of the New Austrian Tunnelling Method (NATM). In the first stage, shaft J38 was sunk to the level of 163.9m a.s.l. (ca 22.4m under the terrain level). The gallery between the shaft and



Obr. 1 Situace stavby

Fig. 1 Construction layout

trouby do stávajícího objektu KT Rohanský ostrov dojde v místě technické komory TK4, která je situována pod šachtu J37 a nachází se v ulici Rohanské nábreží před objektem „River Garden III“. Trasa tunelu je spádována do čerpací jímky. Úsek tunelu od TK5 k jímce je veden úpadně ve sklonu 0,55 %, zbylý úsek je veden dovrčně ve sklonu 0,55 %. Mocnost nadloží se pohybuje mezi 15 a 19 m. Příčný profil tunelu je vejčitého tvaru teoretického výrubu  $3,5 \times 3,6$  m (plocha  $10,27$  m<sup>2</sup>).

V závislosti na geotechnických podmínkách je tunel rozdělen do tří technologických tříd NRTM. Konstruktivně je primární ostění tunelu řešeno z příhradové výztuže, stříkaného betonu, ocelových sítí a svorníků. Primární ostění má různou tloušťku, podle technologické třídy NRTM. Hydroizolace díla je řešena mezilehlou izolací vloženou mezi provizorní a definitivní ostění. Sekundární ostění je ze železobetonu a zajišťuje stabilní profil po celou dobu životnosti stavby.

### Hloubená šachta J38

Šachta J38 je technologickou šachtou kabelového tunelu a nachází se v ulici Rohanské nábreží v prodloužení ulice U Invalidovny. Šachta má kruhový profil o světlém průměru 4,6 m s hloubkou 22,4 m. Do dna šachty je osazena dočasná odvodňovací jímka s čerpáním průsakových vod na povrch do sedimentační kaskády. Během hloubení šachty se použily dva základní technologické postupy, a to hloubení pod ochranou pilotové stěny a hloubení v důlních rámech. Po realizaci pilot následovalo vlastní hloubení s prováděním dočasné výztuže v části pilotové stěny ocelovými sítěmi a stříkaným betonem, pod úrovní pilot důlními rámy, ocelovými sítěmi a stříkaným betonem.

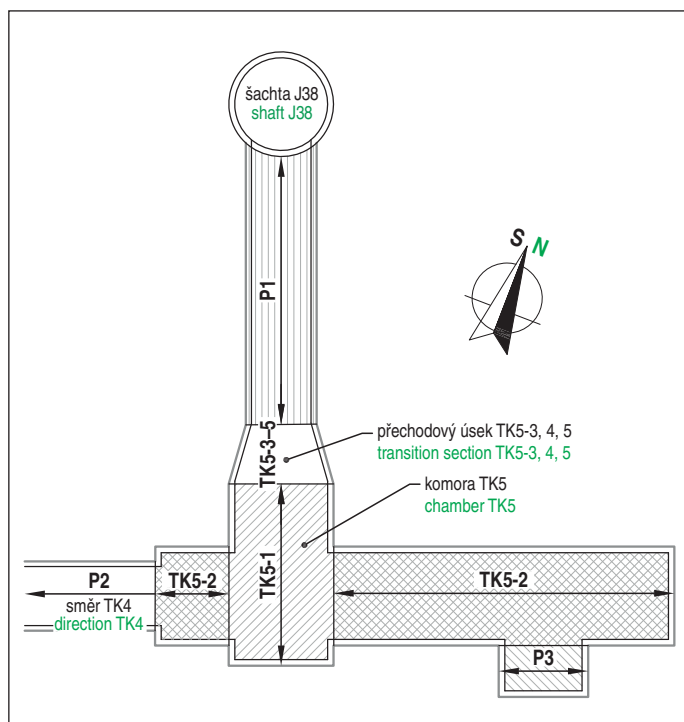
the utility chamber linking the main tunnel route of the cable tunnel was driven subsequently. The breakthrough of the main tunnel tube into the existing structure of the Rohanský Ostrov CT will take place in the location of TK4 utility chamber, located under shaft J37 in Rohanské nábreží Street in front of the “River Garden III” building. The tunnel gradient falls toward a sump pit. The tunnel section from TK5 to the sump pit runs downhill at a gradient of 0.55%; the remaining section is led uphill at a gradient of 0.55%. The overburden thickness varies between 15m and 19m. The egg-shaped tunnel cross-section with theoretical excavated cross-section dimensions of  $3.5\text{m} \times 3.6\text{m}$  has the area of  $10.27\text{m}^2$ .

Depending on geotechnical conditions, the tunnel is divided into three NATM excavation support classes. The tunnel structure is designed to be formed by lattice girders, shotcrete, welded mesh and rockbolts. The primary lining corresponds to the various thickness, depending on the NATM excavation support class. The waterproofing is designed as an intermediate system inserted between the temporary lining and final lining. The secondary lining is a permanent reinforced concrete structure ensuring a stable profile throughout the construction life.

### J38 sunk shaft

J38 shaft is a utility shaft on the cable tunnel; it is located in Rohanské Nábreží Street in the extension of U Invalidovny Street. The shaft profile is circular with the finished internal diameter of 4.6m and the depth of 22.4m. A temporary drainage sump for pumping seepage water to the terrain surface, to a sedimentation cascade, is carried out at the shaft bottom. Two basic methods were used during the course of sinking the shaft, namely sinking under protection of a pile wall and sinking using colliery frames. After





Obr. 2 Schematický půdorys znázorňující propojení šachty J38 s KT Invalidovna směrem k TK4 u šachty J37

Fig. 2 Schematic ground plan showing the linking of shaft J38 with the Invalidovna CT in the direction of TK4 at J37 shaft

Převrtávaná pilotová stěna je tvořena 32 ks pilot průměru 880 mm. Sekundární piloty jsou vyztuženy armokošem, který je vzhledem k hloubce dvojdielný. Piloty byly dovtřány s vetknutím až do únosného skalního podloží do hloubky 16,2 m. Vrchní část pilot byla ztužena ohlubňovým věncem [1]. V místech zajištění šachty pilotovou stěnou je provizorní ostění tvořeno KARI sítí a stříkaným betonem v celkové tloušce vyrovnávacího nástřiku 150 mm.

Pod úrovní pilot pokračovalo hloubení v důlních rámech dalších 6,2 m. Byla instalována důlní korýtková výztuž s přesahem dílů vždy minimálně 400 mm, spojených vždy dvěma třmenovými spojkami. Důlní výztuž začíná přibližně 0,9 m nad patou pilotové stěny zdvojeným rámem, kotveným do pilotové stěny pomocí trnů  $\varnothing 22$  mm a délky 0,5 m. Rámy jsou doplněny o výstužné KARI síť s nástřikem betonu v celkové tloušce 300 mm [1]. Rozpojování hornin v šachtě J38 bylo realizováno v celé hloubce strojním a ručním způsobem, bez použití trhacích prací. Šachta J38 byla dohloubena do úrovně rozrážky směrem k technické komoře TK5.

### Ražená část

Úvodními raženými díly k hlavnímu tunelovému úseku jsou spojka z rozrážky z J38 podkovovitého profilu „P1“ a technická komora TK5, která je umístěná pod ulicí Rohanské nábřeží v ose hlavní trasy díla. Ražba spojky „P1“ i komory TK5 probíhá v horninách zahořanského souvrství. Technická komora TK5 vyústí oboustranným rozražením [2]. Toto specifické místo je řešeno směrem na východ v profilu TK5-2 zajištěním dvojicí převázek z betonářské výztuže  $\varnothing 16$  mm svázaných třmínky a západním směrem jednostrannou rozrážkou ve směru vlastní tunelové trasy (obr. 2). Komořka TK5 tak v definitivním stavu zajistí vedení jak trasy kabelového tunelu směrem na Těšnov s objektem transformovny Karlín, tak vedení tunelu v jeho plánovaném pokračování směrem Libeň.

Hlavní tunelová trouba v úseku TK4–TK5 představuje dílo prováděné hornickým způsobem s využitím působení horninového

completion of the piles, the sinking of the shaft followed with installation of temporary support in a part of the pile wall using welded mesh and shotcrete; under the level of the piles, colliery frames, welded mesh and shotcrete are used.

The secant pile wall is formed by 32 piles 880mm in diameter. The secondary piles are reinforced with reinforcement cages consisting, with respect to the depth, of two pieces. The piles were keyed into the weight-bearing sub-grade, to the depth of 16.2m. The upper part of the piles was stiffened by a shaft collar [1]. In the locations of the shaft stabilisation by the pile wall, the temporary lining was supplemented with KARI welded mesh and shotcrete at the total thickness of the levelling layer of 150mm.

Under the level of the piles, the sinking of the shaft continued for additional 6m depth with the support provided by TH frames. Colliery TH frames were installed with minimum overlapping of 400mm. They were connected with two coupling straps. The colliery support frames start approximately 0.9m above the bottom of the pile wall by a doubled frame anchored into the pile wall with 0.5m long dowels  $\varnothing 22$ mm. The frames are complemented by KARI mesh and shotcrete with the total depth of the temporary support layer of 300mm [1]. The rock in shaft J38 was disintegrated throughout the depth mechanically and manually, without application of blasting. The excavation of J35 shaft was finished at the level of the tunnel stub heading toward the TK5 utility chamber.

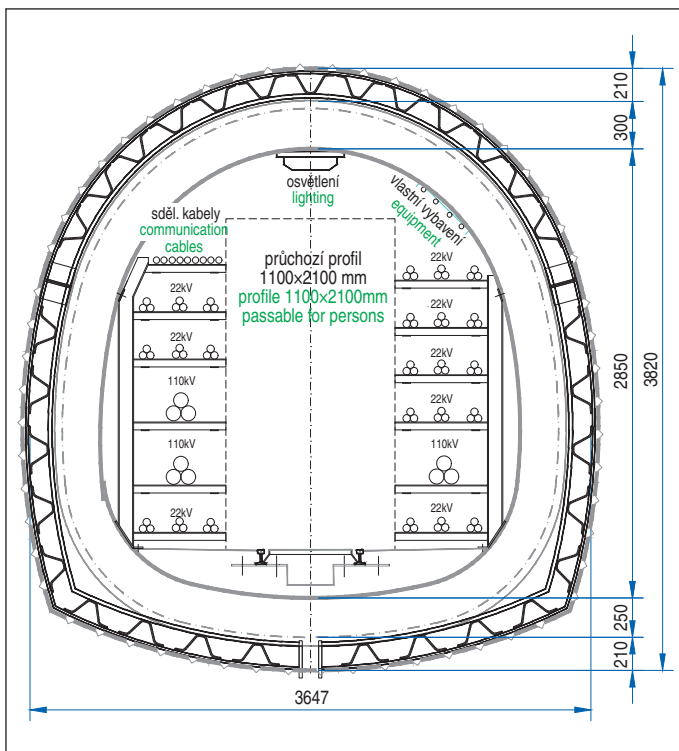
### Mined part

The initial tunnel structures driven toward the main tunnel section comprise the gallery leading from the tunnel stub from J38 with the horseshoe shaped profile “P1” and TK5 utility chamber, which is located under Rohanské Nábřeží Street on the centre line of the main route of the tunnel. The excavation of the linking gallery “P1” and TK5 chamber proceeds through the Zahořany Formation rock. The TK5 utility chamber will end by tunnel stubs heading to two directions [2]. This specific location is solved eastward using the TK5-2 profile, by stabilisation with a pair of walers from concrete reinforcement rods  $\varnothing 16$ mm tied-up with stirrups; westward, the location is solved by a single-sided tunnel stub heading in the direction of the tunnel route itself (see Fig. 2). In this way, TK5 chamber in the final state will allow for construction of the cable tunnel route in the direction of Těšnov, containing the Těšnov transformer station, as well as the planned continuation of the tunnel route heading in the direction of Libeň.

The main tunnel tube in the TK4–TK5 section is a working carried out in mining-like way using the action of the ground mass on stabilisation of the excavation surroundings. The design thickness of the temporary excavation support structure amounts to 250mm. It is divided into three excavation support classes (TT3, TT4 and TT5), depending on geotechnical conditions. In terms of the structure, the temporary lining is designed to comprise lattice girders or colliery frames, as the case may be, shotcrete and welded mesh, complemented by a system of rockbolts [3]. The lattice arches are designed to be installed in each excavation round; the excavation round length is defined by the NATM excavation support class in which the excavation is just located. It ranges from 0.5m to 1.6m (see Fig. 3).

The design counts on the use of rockbolts for the stabilisation of the vault and the forepoling at the top heading used for worsened geotechnical conditions in geotechnical classes TT4 and TT5 in each excavation round. Specifically, 50% and 30% of the vault surface is to be grouted in classes TT5 and TT4, respectively.

In TT3, forepoling at the top heading and application of self-drilling rockbolts was, in contrast with the design documents,



Obr. 3 Příčný řez hlavní tunelovou troubou  
Fig. 3 Main tunnel tube cross-section

masivu na stabilizaci okolí výrubu. Návrhová tloušťka dočasného ostění díla je 250 mm a v závislosti na geotechnických podmínkách je rozdělena do tří technologických tříd (TT3, TT4 a TT5). Konstrukčně je provizorní ostění řešeno z příhradové výtzuže, případně důlní výtzuže a stříkaného betonu, ocelových sítí a doplněné systémem svorníků [3]. Příhradové výtzužné oblouky jsou navrženy v každém záběru, délka záběru je definována technologickou třídou NRTM, ve které se ražba právě nachází a pohybuje se od 0,5 do 1,6 m (obr. 3).

S použitím svorníků pro zajištění klenby a jehlováním přístropí projekt počítá u zhoršených geotechnických podmínek v geotechnických třídách TT4 a TT5 při každém záběru. Konkrétně má být ve třídě TT5 injektováno 50 % plochy klenby, u TT4 pak 30 %.

V TT3 bylo doposud od jehlování přístropí i využití samozávrtných svorníků, oproti návrhové dokumentaci, v důsledku stability horninového masivu a pozitivního vývoje sledovaných deformací upuštěno.

Odvodnění stavby je řešeno spádováním do čerpacích jímek. S čerpací jímkou je počítáno v TK5; na staničení 248,8 m a dále budou operativně přidávány nácestné jímky, podle konkrétních míst a intenzity přítoků podzemních vod do díla.

### 3. INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝ PRŮZKUM

Inženýrskogeologický průzkum (IG), realizovaný společností INSET s.r.o. tři roky před samotnou stavbou, měl za cíl vyšetřit především následující tematické okruhy: geologickou skladbu podloží, hydrogeologické poměry, očekávané přítoky podzemní vody do díla a šachty, geotechnické vlastnosti zemin a hornin, agresivitu podzemní vody na betonové konstrukce. Dalším cílem IG průzkumu bylo zpracovat doporučení pro způsob ražby kabelového tunelu, návrh vhodné technologie provedení a zařídění do technologických tříd NRTM, včetně posouzení technologických vlastností a možnosti použití vytěžené rubaniny. V rámci IG průzkumu byly

abandoned as a result of the good stability of the rock massif and the positive development of the deformations being monitored.

The drainage of the tunnel is solved by gradients falling toward sump pits. A sump pit is planned for TK5; intermediate sump pits will be operatively added from chainage m 248.8, depending on particular locations and intensity of groundwater flows into the tunnel.

### 3. ENGINEERING GEOLOGICAL SURVEY

The engineering geological (EG) survey completed by the company of INSET s.r.o. three years before the construction work, aimed to examine first of all the following thematic areas: the geological structure of the subgrade, hydrogeological conditions, the expected flows of groundwater into the tunnel and the shaft excavation, geotechnical properties of soils and rock and the concrete-aggressive action of groundwater. Another aim of the EG survey was to develop recommendations for the technique of the cable tunnel excavation, a proposal for an execution technique and categorisation into NATM excavation support classes, including the assessment of technical properties and the possibility of using the excavated muck. Four boreholes bored to the depth of 30m were conducted within the framework of the EG survey. They were complemented by results of archive sounding work.

According to the geological structure, the tunnel at chainage m 527.0 to 33.1 will be driven through weakly weathered Bohdalec Formation shale. Subsequently, at chainage 33.1 to 0.0, it will be driven mainly through fresh Zahořany Formation shale (see Fig. 4).

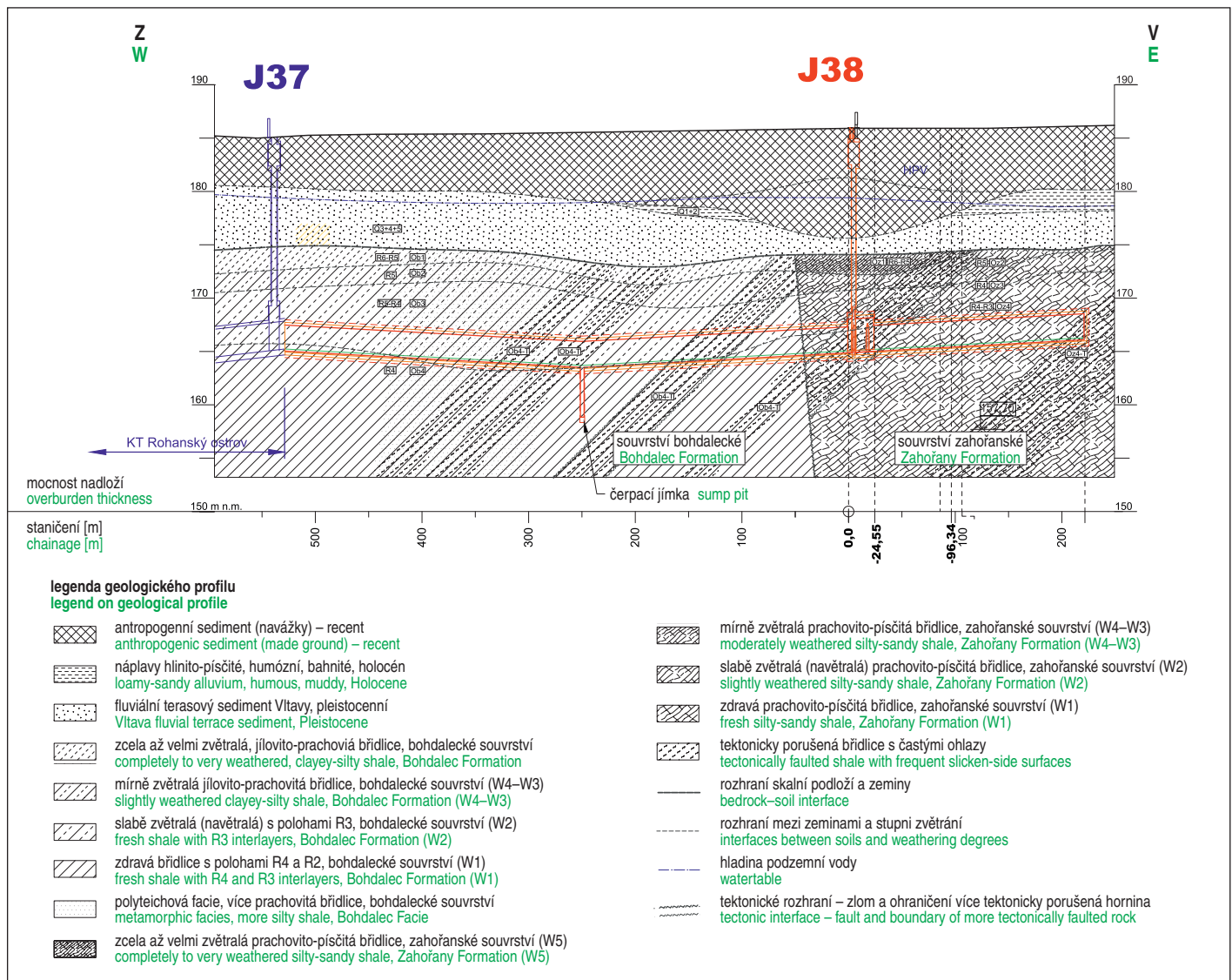
The ground massif on the cable tunnel route can be divided into quasi-homogeneous units with highly variable structure and strength rock – the Bohdalec Formation and Zahořany Formation shale the unconfined compressive strength of which ranges from 7 to 62MP or even higher. Categorisation of the rock in the excavation profile into the NATM excavation support classes is presented in Table 1.

Sinking of the shaft is affected by groundwater, which is bound to the highly porous permeability environment of the Vltava valley terrace. The excavation will be carried out under the water table, in the environment formed by Zahořany Formation and Bohdalec Formation shale, which is characterised by fissure permeability. Increased inflows are expected in the location of the intersection with tectonically faulted rock mass. The inflow rates 0.5–1.0L/s are anticipated in those locations. Horizontal boreholes drilled ahead of the excavation face will be carried out in the locations of tectonic faults, among others for the purpose of quantification of inflows into the excavation. The water table level in the area of operations will probably fluctuate at 6.7 to 7.7m under the terrain [5].

### 4. GEOTECHNICAL MONITORING

The construction work on sinking of J38shaft started by stripping of top soil and terrain finishes for the secant pile wall of the shaft in May 2019. Geotechnical monitoring started earlier, before the commencement of the construction, by detailed condition survey of the terrain surface and buildings within the settlement trough of the future construction. Engineering geological documents were carried out from the beginning of the shaft sinking operations, first for the made ground and fluvial sediments. Subsequently the gathered information about the ground environment is processed during the excavation and the ground is categorised into respective excavation support classes. The following elements of the geotechnical monitoring of the construction are being implemented or planned:





Obr. 4 Podélný inženýrskogeologický řez

Fig. 4 Longitudinal engineering geological section

realizovány čtyři jádrové průzkumné vrty do hloubek 30 m, které byly doplněny o archivní sondážní práce.

Podle zjištěné geologické stavby bude tunel ve staničení 527,0 až 33,1 m ražen ve slabě zvětřalých bohdaleckých břidlicích. Následně ve staničení 33,1 až 0,0 m bude ražen hlavně ve zdravých zahořanských břidlicích (obr. 4).

Horninový masiv v trase kabelového tunelu lze rozdělit na kvazi-homogenní celky se strukturálně a pevnostně velmi proměnlivou horninou – bohdaleckými a zahořanskými břidlicemi, jejichž pevnost v prostém tlaku se pohybuje od 7 do 62 MPa nebo i více. Zařazení hornin v profilu ražby do tříd NRTM je uvedeno v tab. 1.

Hloubení šachty je ovlivněno podzemní vodou, která je vázána na vysoce průlinově propustné prostředí údolní vltavské terasy. Ražba bude probíhat pod hladinou podzemní vody v prostředí zahořanských a bohdaleckých břidlic, které jsou charakteristické puklinovou propustností. Zvýšené přítoky jsou očekávány v místě křížení s tektonicky porušenou horninou, přítoky v těchto místech jsou odhadnuty v rozmezí 0,5–1,0 l/s. V místě tektonických poruch budou při ražbě prováděny horizontální předvrty, mimo jiné za účelem kvantifikace přítoků do podzemního díla. Hladina podzemní vody se v zájmové oblasti bude pravděpodobně pohybovat v údolní terase na úrovni 6,7 až 7,7 m pod terémem [5].

- condition survey/resurvey of structures affected by the construction;
- high-precision levelling of the terrain surface, underground structures and the cable tunnel itself;
- 3D trigonometric survey of above-ground buildings;
- precision measurements of deformations of above-ground buildings;
- measurements of deformations of the lining (convergence measurements);
- extensometer measurements in the excavation surroundings;
- measurements of stray currents;
- measurements of acoustic and dynamic effects of blasting operations (if they are performed);
- measurements of stress on contact between ground and excavation support;
- measurements of stress in the primary lining with strain gauges;
- geological, hydrogeological and geotechnical supervision.

All monitoring outputs were and further will be presented immediately after the assessment in the SAHURE monitoring information system (developed by the company of INSET s.r.o.), which is accessible on-line to all competent participants in the construction.

Tab. 1 Zařídění hornin podle technologické třídy NRTM

Table 1 Categorisation of rock according to the NATM excavation support class

staničení [TM] chainage [TM]	horninové prostředí ground condition	třída NRTM NATM class
0–33 0–33	souvrství zahořanské Zahořany Formation	3 3
44–92 145–224 264–279 316–527 44–92 145–224 264–279 316–527	souvrství bohdalecké  Bohdalec Formation	4  4
92–145 224–264 279–316 92–145 224–264 279–316	souvrství bohdalecké  Bohdalec Formation	5  5
33–44 33–44	souvrství bohdalecké, prostup tektonickou poruchou Bohdalec Formation, passage through tectonic fault	5 5

#### 4. GEOTECHNICKÝ MONITORING

Stavební práce na hloubení šachty J38 začaly skrývkou a úpravou terénu pro vlastní převrtávanou pilotovou stěnu šachty v květnu 2019. Geotechnický monitoring začal již před zahájením stavby podrobnou pasportizací povrchu a objektů v poklesové kotlině budoucí stavby. Od začátku hloubení se prováděla inženýrskogeologická dokumentace nejdříve navážek a fluvialních sedimentů. Následně je při ražbě prováděna dokumentace a vyhodnocování zjištěných informací o horninovém prostředí, se zaříděním do patřičných technologických tříd. Z dalších metodik geotechnického monitoringu stavby jsou realizovány, nebo plánovány následující:

- pasportizace/repasportizace objektů dotčených stavbou;
- přesné nivelační měření povrchu, podzemních objektů a samotného kabelového tunelu;
- 3D trigonometrické měření nadzemních objektů;
- přesné měření deformací nadzemních objektů;
- měření deformací ostění (konvergenční měření);
- extenzometrická měření v nadloží výrubu;
- měření bludných proudů;
- měření akustických a dynamických účinků trhačích prací (pokud budou prováděny);
- měření napětí na kontaktu mezi horninou a ostěním;
- měření napětí primárního ostění tenzometry;
- geologický, hydrogeologický a geotechnický dohled.

Veškeré výstupy monitoringu byly a dále budou bezprostředně po jejich vyhodnocení prezentovány v informačním systému monitoringu SAHURE (vyvinutým společností INSET s.r.o.), který je on-line dostupný všem kompetentním účastníkům výstavby.

#### Konvergenční a extenzometrická měření

Konvergenční profily jsou v trase kabelového tunelu Invalidovna pětibodové, měřeny jsou konvergenčním pásmem opatřeným siloměrem, který zajišťuje konstantní napnutí pásma, a mikrometrem, který zabezpečí odečítání délky s přesností 0,05 mm. Podle prostorových možností, především s ohledem na vedení lutny, jsou tři body umístěny v kalotě a dva v opěři. Profily jsou instalovány v roztečích 10 m jak v propojovacích technických štolách, tak v hlavním tunelovém úseku.

#### Convergence and extensometer measurements

There are five-point convergence measurement stations on the Invalidovna cable tunnel route. Convergences are measured with a convergence tape with a force gauge, which allows for constant tightening of the tape, and a micrometer, which ensures reading of the length with 0.05mm accuracy. Depending on spatial possibilities, first of all with respect to the position of the ventilation duct, three points are installed in the top heading and two are in the bench. The measurement stations are installed at 10m spacing both in the technical linking galleries and the main tunnel section.

Until now, mostly fresh, silty shale of the Zahořany Formation has been encountered. The measured values of radial deformations of the lining are low, ranging up to 3mm. They are under the value of the first warning state (the value is equal to 5mm).

One extensometer borehole JE103 was installed on the tunnel route, above tunnel stub J38 and TK5, so that it provides knowledge about the ground behaviour for the remaining excavation. The extensometer borehole JE103 is designed for monitoring of deformations of the ground environment in the tunnel overburden in the direction of the borehole centre line (the extensometer stem). The basic principle lies in measuring the change in the position of the anchor stabilised in ground in relation to the extensometer head. Reading of deformations of the extensometer anchor is conducted in an automatic regime using a data logger. The results are transmitted through the mobile network to the contractor for monitoring. The levelling survey of subsidence of extensometer heads for determination of deformation of the extensometer anchors in relation to the deformation of its head is an inseparable part of the monitoring of shifting of the anchors in the ground. The borehole is fitted with one four-level extensometer with the anchors located at the depths of 13.5m; 15.5m; 16.5m and 19.5m [4].

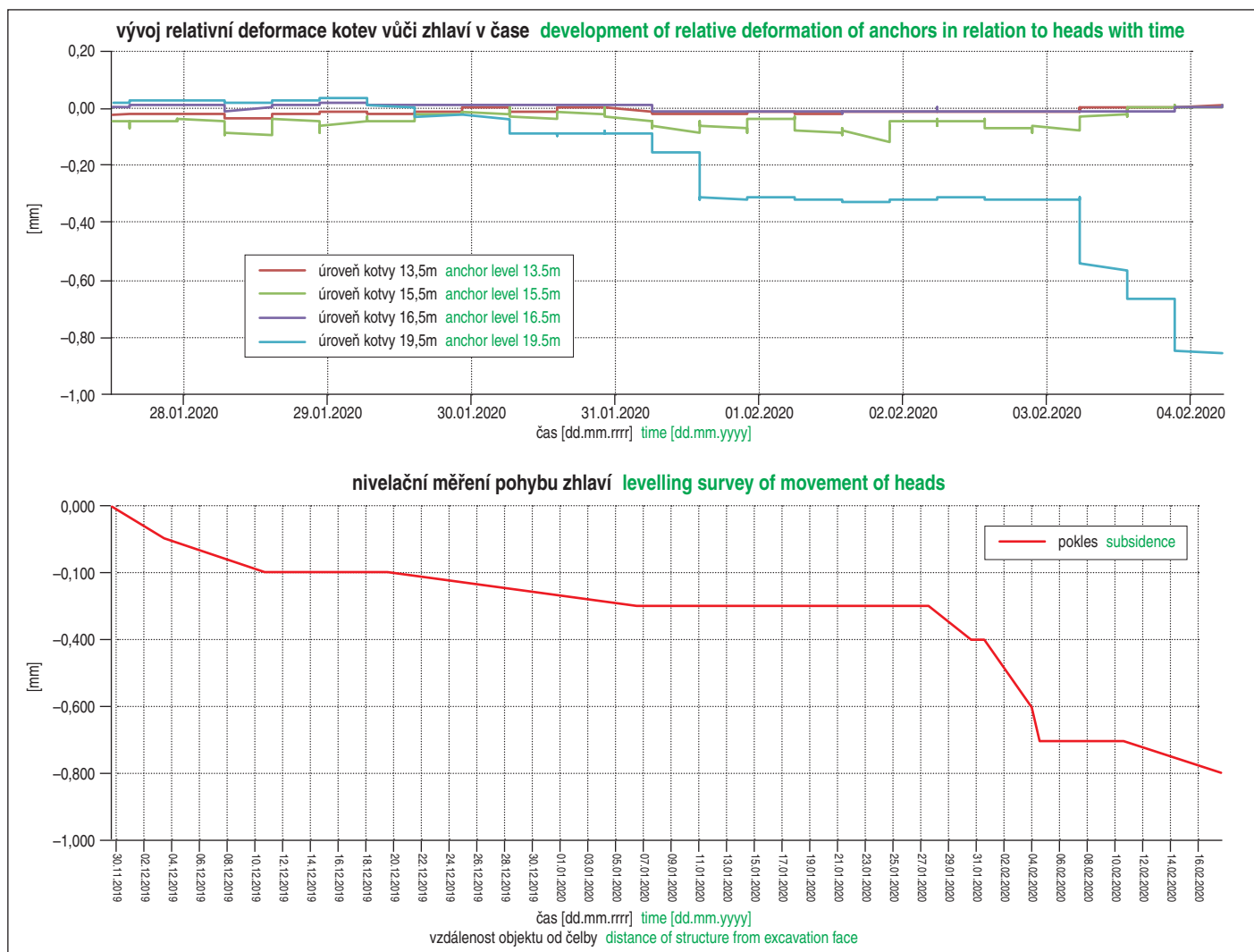
The until now recorded values of the shifts on extensometer JE 103 amounted to the order of first units of millimetre. The subsidence of the lower anchor located just above the excavation was most perceptible during the passage under the extensometer (subsidence of the head up to 1.0mm, subsidence of the lower anchor of 0.9mm) (see Fig. 5).

#### Monitoring of neighbouring buildings

Four real estates located in Rohanské nábřeží Street, at which continuous measurements are planned with respect to verification whether they are not negatively affected by the construction, are observed within the framework of the geotechnical monitoring. Deformeters for observation of the width of cracks will be installed on significant cracks before the approach of the excavation. They will be provided with reading of the values at regular weekly intervals. Condition resurvey of all four real estates is planned after completion of construction work.

The other structure being monitored for which the excavation means a certain risk is the DN1500mm circular cross-section underground flushing conduit passed under at three places. The thickness of the rock layer between the top heading of the cable tunnel and the bottom of the conduit amounts approximately to 10m. Poor construction and technical condition of the lining of the flushing conduit was identified during the condition survey carried out in 2019 and diagonal cracks permeating through the whole circumference of the circular cross-section were documented in several places. Detailed condition survey is planned after completion of the excavation.





Obr. 5 Průběh posunů na extenzometru při průchodu ražby přechodovým úsekem TK5-3 mezi šachtou J38 a technickou komorou TK5

Fig. 5 Time history of displacements on the extensometer during the passage of the excavation through the transition section TK5-3 between shaft J38 and TK5 utility chamber

Doposud byly ražbami zastiženy převážně zdravé, prachovité břidlice zahořanského souvrství. Naměřené hodnoty radiálních deformací ostění jsou nízké, pohybují se do 3 mm a jsou pod hodnotou prvního varovného stavu (hodnota je 5 mm).

V trase díla byl instalován jeden extenzometrický vrt JE103 nad rozrážku mezi J38 a TK5 tak, aby poskytl znalosti o chování horniny pro zbývající ražbu. Extenzometrický vrt JE103 je určený k monitoringu deformací horninového prostředí v nadloží tunelu, a to ve směru osy vrtu (extenzometrického stvolu). Základním principem je měření změny polohy kotvy stabilizované v hornině vůči hlavě extenzometru. Odečítání deformací kotvě extenzometru je prováděno v automatickém režimu pomocí dataloggeru a výsledky jsou přenášeny mobilní sítí zhotoviteli monitoringu. Nedílnou součástí monitoringu posunů kotvě v hornině je nivelační měření poklesů zhlaví extenzometru pro zjištění deformace kotvě extenzometru se zohledněním deformace jeho zhlaví. Vrt je vystrojen jedním čtyřúrovňovým extenzometrem s kotvami umístěnými v hloubkách 13,5 m; 15,5 m; 16,5 m a 19,5 m [4].

Dosud zaznamenané posuny na extenzometru JE103 dosahovaly hodnot v řádu prvních jednotek milimetru. Znatelný byl především pokles dolní kotvy těsně nad výrubem při podcházení extenzometru (sedání zhlaví do 1,0 mm, pokles dolní kotvy 0,9 mm), viz obr. 5.

Until now (as of February 2020) blasting operations have not have to be used. Seismic and acoustic effects on neighbouring buildings and environment will be monitored in the case of using them. Installation of permanent seismic stations with continual reading and automatic transition of data to the monitoring office is planned to be carried out on neighbouring buildings for the time when blasting is conducted. The decision on the precise location of the measurement stations will be made if the blasting operations are to be carried out. The values of dynamic effect of blasting operations prescribed for the neighbouring buildings are determined in accordance with CSN 730040 "Loads of technical structures by technical seismicity" at the vibration velocity of 3mm/s.

The acoustic effects will be checked in the protected external space of buildings from the point of view of hygienic limits prescribed within the framework of the Decree No. 272/2011 Coll. of the Government of the Czech Republic on protection of health from adverse effects of noise and vibration. The excavation technique will be modified in a case of adverse seismic or acoustic effects.

Another measure implemented in the settlement zone of the area of operations is hydrogeological monitoring. The groundwater table level is periodically monitored in surrounding hydraulic boreholes tipped on the basis of archive documents, with the values

### Sledování objektů okolní zástavby

V rámci geotechnického monitoringu jsou sledovány čtyři nemovitosti v ulici Rohanské nábřeží, u kterých se počítá s průběžným měřením z důvodu ověření, jestli nedochází k jejich negativnímu ovlivnění výstavbou. Před přiblížením ražby byly či budou na významných trhlinách sledovaných objektů nadzemní zástavby osazeny deformometry pro sledování šířky trhlin, s odečtem hodnot v pravidelném týdenním intervalu. Po ukončení stavebních prací je plánována repasportizace všech čtyř nemovitostí.

Dalším sledovaným objektem, pro který ražba představuje určité riziko, je podzemní betonový proplachovací kanál kruhového profilu DN1500, který ražba podchází na třech místech. Mocnost nadloží mezi kalotou kabelového tunelu a dnem kanálu je přibližně 10 m. Při pasportizaci provedené v létě 2019 byl zjištěn špatný stavebnětechnický stav ostění proplachovacího kanálu a na několika místech byly dokumentovány diagonální trhliny prostupující celým obvodem kruhového profilu. Po dokončení ražeb je plánována podrobná repasportizace.

Až doposud (stav k 02/2020) nemusely být trhací práce použity. V případě jejich využití budou sledovány seismické a akustické účinky na okolní objekty a prostředí. Na objektech okolní zástavby je po dobu použití trhacích prací plánována instalace stálých seismických stanic s kontinuálním snímáním a automatickým přenosem dat do kanceláře monitoringu. O přesném umístění těchto měřicích stanic bude rozhodnuto, pokud se k trhacím pracím přistoupí. Pro objekty okolní zástavby jsou přípustné hodnoty dynamických účinků od trhacích prací stanovené v souladu s ČSN 730040 „Zatížení stavebních objektů technickou seismickou a jejich odezva“ na hodnotu rychlosti kmitání 3 mm/s.

Akustické účinky budou kontrolovány v chráněném venkovním prostoru staveb z hlediska hygienických limitů stanovených v rámci nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. V případě nepříznivých seismických či akustických účinků bude adekvátně upravena technologie ražby.

Dalším z prováděných měření v poklesové zóně zájmového úseku je hydrogeologické sledování. Úroveň hladiny podzemní vody je periodicky sledována v okolních hydrovrtech, vytipovaných na základě archivní dokumentace, s hodnotami měřených hladin v rozsahu 5,1 až 9,1 m pod terémem.

### Inženýrskogeologická dokumentace

Postup ražby je detailně inženýrskogeologicky a fotograficky dokumentován. V rámci těchto prací je kladen důraz na petrografické složení a stupeň zvětrání přítomných hornin, strukturní prvky hornin a přítomnost podzemní vody. Dokumentován je každý záběr, přičemž výstupem je inženýrskogeologický záznam, zahrnující náskres čelby se záznamem inženýrskogeologických poměrů. Textový záznam zjištěných skutečností zahrnuje hodnocení kvality horniny podle indexu QTS podle Tesaře, zatřídění horninového masivu do technologických tříd, údaje o nadvýlomech, přítocích podzemní vody a průměrné maximální vzdálenosti všech ploch diskontinuit o nulové nebo velmi malé tahové pevnosti. Hloubení šachty J38 probíhalo ve vrstvě antropogenních sedimentů, navážky dosahovaly mocnosti 8,4 m a měly charakter jílu písčitého a písku hlinitého, s úlomky cihel, slínovce a valounů křemence, s rozloženou břidlicí. V hloubce 8,4 m až 11,7 m pod terémem byly zastíženy fluvialní sedimenty maninské údolní terasy pleistocenního stáří, charakteru hrubozrnných písků, písků se šterkem a písčitých šterků s valouny křemene do 15 cm. Sedimenty byly vysoce propustné a silně zvodnělé. Hladina podzemní vody byla při hloubení zastížena na úrovni přibližně 176,8 m n. m. v hloubce okolo 6 m pod terémem.



Obr. 6 Čelba ve zdravých zahořanských břidlicích, staničení 19,7 m úseku J38-TK5

Fig. 6 Excavation face in fresh Zahořany Formation shale, chainage m 19.7 of the J38-TK5 section

of the water table levels ranging from 5.1 to 9.1m under the terrain surface.

### Engineering geological documents

The excavation procedure is documented in detail in the engineering geological way and by photographs. Within the framework of those operations, the emphasis is on the petrographical composition and the degree of weathering of the present ground types, structural elements of the rock types and the presence of groundwater. Each excavation round is documented, with the output in the form of engineering geological records containing a sketch of the excavation face and a record of engineering geological conditions. The text record of the findings comprises the assessment of rock quality using QTS classification according to Tesař, categorisation of rock massif into excavation support classes, data on overbreaks, groundwater inflows and the average maximum spacing of all discontinuities with zero or very low tensile strength. Sinking of J38 shaft proceeded through a layer of anthropogenic sediments; made ground thickness amounted to 8.4m. It had the character of sandy clay and loamy clay with brick fragments, marlstone and quartz boulders, with decomposed shale. Fluvial sediments of the Maniny flood-plain terrace of the Pleistocene age, with the character of coarse-grained sand, gravely sand and sandy gravel with quartz boulders up to 15cm. The sediments were highly permeable and heavily water-bearing. The water table was encountered during the sinking of the shaft at the level of approximately 6m under the terrain surface. Inflows into the excavation were mostly screened by the pile wall. Nevertheless,



Přítoky do díla byly z valné většiny odcloněny pilotovou stěnou, prosakující voda byla nicméně čerpána ze dna průběžně po celou dobu hloubení.

Po odtěžení fluviálních sedimentů bylo v hloubce 11,7 m pod terémem zastiženo skalní podloží, tvořené zahořanskými břidlicemi ordovického stáří a různého stupně zvětrání. První dva metry břidlic byly tvořeny zcela zvětralou až velmi zvětralou horninou, následovala břidlice mírně zvětralá v mocnosti 1,2 m a slabě zvětralá (navětralá) břidlice s hojnými karbonátovými žilami o mocnosti dalších 4,3 m. Od hloubky 19,2 m k bázi šachty v hloubce 21,3 m již byla hornina zdravá. Pevnost zdravých hornin spadá většinou do třídy R4 a R3.

Samotná ražba následně pokračovala v poměrně monotónním horninovém prostředí zdravých tektonicky porušených zahořanských břidlic (obr. 6). Vrstevnatost břidlic byla převážně deskovitá, plocha břidličnatosti tvoří tenké laminy, uklánějící se k jihu, tj. do hory, pod úhlem 10–20° a při těžbě tvoří deskovité boky. Hornina je porušená subvertikálními puklinami. Ve zdravých břidlicích se vyskytují ojediněle polohy pevnostně až ve třídě R2.

Zhoršené podmínky ražby jsou podle IG průzkumu očekávány v místě procházení tektonických zón a rozhraní, konkrétně ve staničení 145,2 až 92,4 m a 44,0 až 33,1 m. Především ve staničení 44,0 až 31,1 m by mělo být tektonické porušení nejvýraznější. Polohy nejvýznamněji tektonicky porušených oblastí budou ověřeny subhorizontálními předvrty z čelby.

Z doposud získaných poznatků při ražbě (k 25. 2. 2020 bylo vyraženo 26,0 m z celkových 550,4 m) byly dokumentovány přítoky do díla pouze slabé v rádech do 0,1 l/s.

## 5. ZÁVĚR

Ražby se daří provádět bezpečně, bez významných geotechnických problémů. Pokud bude jako doposud pokračovat příznivé deformační chování horninového masivu, je pravděpodobné, že bude ražba v celých úsecích realizována v subtilněji vyztužených technologických třídách, než předpokládala projektová dokumentace. Dosud získané poznatky z prvních vyražených metrů budoucího kabelového tunelu Invalidovna jsou cenným zdrojem informací jak pro bezpečné pokračování stavby samotné, tak pro projektování a monitoring dalších podzemních děl, která se v oblasti pražského Karlína plánují do budoucna realizovat.

*Ing. MIROSLAV MIXA,  
mixa.miroslav@inset.com, INSET s.r.o.  
Ing. JIŘÍ KOŠTÁL, Ph.D.,  
kostal.jiri@inset.com,  
INSET s.r.o., Fakulta stavební ČVUT v Praze*

*Recenzoval Reviewed: Ing. Alena Svěrková*

seeping water was continually pumped from the bottom throughout the shaft sinking process.

After excavation of fluvial sediments, bedrock was encountered at the depth of 11.7m. It was formed by Ordovician age Zahořany Formation shale with various degrees of weathering. The initial two metres of the shale were formed by completely weathered to highly weathered rock; moderately weathered shale layer 1.2m thick and slightly weathered shale with ample carbonate veins at the thickness of 4.3m followed. From the depth of 19.2m to the shaft bottom located at the depth of 21.3m, the rock was already fresh. The strength of the fresh rock falls mostly into classes R4 and R3.

The tunnel excavation subsequently continued through relatively monotonous rock environment formed by fresh, tectonically faulted Zahořany Formation shale (see Fig. 6). The shale was mostly tabularly bedded, with cleavage planes forming thin laminae dipping south, i.e. into the rock mass, at 10–20 degrees; the shale creates tabular sides during the excavation. The rock mass is broken by sub-vertical fissures. Layers with the strength class up to R2 occur in the fresh rock.

Worsened excavation conditions are anticipated according to the EG survey in the location of the passage through tectonic fault zones and interfaces, in particular at chainage m 145.2 to 92.4 and 44.0 to 33.1. The tectonic faulting should be most distinct first of all at chainage m 44.0 to 31.1. The layers of the most significant tectonically faulted areas will be verified by sub-horizontal boreholes carried out from the excavation heading.

From the knowledge gained so far during the excavation (26.0m of the total 550.4m of the excavation were finished as of 25<sup>th</sup> February 2020), the inflows documented in the tunnel were only weak, in the order up to 0.1L/s.

## 5. CONCLUSION

The excavation proceeds successfully, without significant geotechnical problems. As long as the favourable deformational behaviour of the rock mass continues, it is likely that the excavation will be carried out in whole sections through more subtle excavation support classes than assumed by the design documents. The knowledge gained so far from the initial excavated metres of the future Invalidovna cable tunnel is a precious source of information both for safe continuation of the construction and for designing and monitoring of other underground construction projects which are planned for the Prague Karlín district in the future.

*Ing. MIROSLAV MIXA,  
mixa.miroslav@inset.com, INSET s.r.o.  
Ing. JIŘÍ KOŠTÁL, Ph.D.,  
kostal.jiri@inset.com,  
INSET s.r.o., Fakulta stavební ČVUT v Praze*

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] MOUČKA, Š., SVĚRKOVÁ, A., HOTOVÝ, P. *Projektová dokumentace SO30.01 Šachta J38, technická zpráva*. Praha: KO-KA s.r.o., 2019, 6 s.
- [2] MOUČKA, Š., SVĚRKOVÁ, A., HOTOVÝ, P. *Projektová dokumentace SO50.01 Technická komora TK5 a spojka dočasná vyztuž, technická zpráva*. Praha: KO-KA s.r.o., 2019, 16 s.
- [3] MOUČKA, Š., SVĚRKOVÁ, A., HOTOVÝ, P. *Projektová dokumentace SO40.01 Úsek TK4/TK5 dočasná vyztuž, technická zpráva*. Praha: KO-KA s.r.o., 2019, 14 s.
- [4] JANKŮ, J., KOŠTÁL, J., *KT Invalidovna I, úsek J37–J38. Projekt geotechnického monitoringu*. Praha: INSET s.r.o., 2016, 19 s.
- [5] ŠPLÍCHAL, L. *KT Invalidovna I, úsek J37–J38. Inženýrskogeologický průzkum*. Praha: INSET s.r.o., 2016, 20 s.

# TUNEL KRAMER, OBCHVAT GARMISCH-PARTENKIRCHEN KRAMER TUNNEL, B23 NEW GARMISCH-PARTENKIRCHEN

JIŘÍ PATZÁK, TOBIAS SCHRAMM, DANIEL JOSEFIK

## ABSTRAKT

Článek popisuje stavbu tunelu Kramer v Německu, spolkový stát Bavorsko. Tento silniční tunel na nově budovaném úseku silnice B23 délky 5,6 km je dominantní součástí západního obchvatu města Garmisch-Partenkirchen a po svém dokončení bude sloužit k odklonění tranzitní dopravy mimo centrum města. Tunel celkové délky 3609 m je koncipován jako jednotubusový, dvoupruhový, s jedním jízdním pruhem pro každý směr jízdy. Bezpečnostní koncepce tunelu je vyřešena paralelně vedenou průjezdnou únikovou štolou. Podstatná část únikové štoly byla v letech 2011 až 2013 vyražena jako štola průzkumná a přispěla k minimalizaci rizik plynoucích ze zastiženého geologického prostředí a k optimálnímu návrhu tunelu. Zhotovitelem předmětné části stavby je sdružení firem BeMo Tunneling GmbH a Subterra a.s., předmětná část stavby by měla být dokončena a předána investorovi v roce 2023, zprovoznění celého obchvatu včetně tunelu je plánováno v roce 2024.

## ABSTRACT

The paper describes the construction project for the Kramer tunnel in Germany, the Federal State of Bavaria. This road tunnel on the 5.6km long B23 section being newly constructed is a dominating part of the western by-pass of the town of Garmisch-Partenkirchen. Once completed, it will serve to divert transit transportation outside the town centre. The tunnel with the total length of 3609m is designed as a single-tube, double-lane structure with one traffic lane for each direction of travel. The safety concept of the tunnel is solved by a parallel escape gallery passable for vehicles. A substantial part of the escape gallery was excavated between 2011 and 2013 as an exploratory gallery. It contributed to minimisation of risks arising from the encountered geological environment and optimisation of the tunnel design. The contractor for the construction part in question is a consortium consisting of the companies of BeMo Tunneling GmbH and Subterra a.s. The construction part in question should be completed and handed over to the project owner in 2023; opening of the whole by-pass including the tunnel to traffic is planned for 2024.

## ÚVOD

Tunel Kramer se s délkou 3609 m stane po svém dokončení nejdelším silničním tunelem ve spolkové zemi Bavorsko. Ražba a zajištění výrubu bude probíhat na principech NRTM, místy ve velmi obtížných geologických podmínkách. K nejsložitějším úsekům patří průchod sesuvným pásmem v oblasti od TM 520 do cca TM 884, včetně nutnosti odvodnění masivu před zahájením ražeb, a také oblast nesoudržných materiálů přiléhající k jižnímu portálu v délce cca 100 m. V těchto oblastech bude ražba prováděna strojním způsobem rozpojování, ve zbytku trasy pak převážně s použitím trhacích prací.

Typy navrženého definitivního ostění se mění s ohledem na vnější podmínky v konkrétním místě tunelu, jsou zastoupeny vyztužené, lokálně vyztužené a nevyztužené tunelové pásy. Izolace bude deštníkového typu a lokálně i tlaková, některé sekce tunelového ostění budou provedeny z vodonepropustného betonu.

Odvětrání provozovaného tunelu je řešeno kombinací použití axiálních ventilátorů v příportálových oblastech, v oblastech blíže ke středu tunelu je větrání zajištěno odsáváním zplodin do vzduchotechnického kanálu vytvořeného nad mezistropem. Odvod zplodin na povrch je řešen napojením kanálu na vzduchotechnickou (VZT) kavernu a VZT šachtu průměru 4,5 m a hloubky 99 m z povrchu k úrovni vozovky.

Mimo samotné podzemní objekty budou v rámci předmětné stavby realizovány ještě objekty napojení na stávající silniční síť, protihlukové stěny, výstavba a zajištění portálových částí, provozní budovy na obou portálech a požární, provozní a usazovací jímky.

## INTRODUCTION

After the completion, the 3609m long Kramer tunnel will become the longest road tunnel in the Federal State of Bavaria. The tunnel excavation and supporting of the excavation will proceed on the basis of the NATM principles, locally through very difficult geology. Among the most complicated sections, there will be the passage through a slide zone from chainage TM 520 to ca TM 884, including the necessity for draining the massif before the commencement of the excavation, and also a ca 100m long area of incohesive materials adjacent to the southern portal. In the above-mentioned areas the ground will be disintegrated mechanically; the remaining parts of the tunnel will be mostly excavated using blasting.

The designed types of the final lining vary taking into consideration external conditions at particular tunnel locations. Reinforced, locally reinforced and unreinforced concrete sections of tunnel lining are designed. The waterproofing system will be of the roof canopy type, locally pressure-resistant, and even water-impervious concrete will be used for some tunnel lining blocks.

The operating tunnel ventilation system is solved by a combination of axial fans installed in the portal sections, whilst in areas closer to the tunnel mid-point, ventilation is ensured by extraction of air to the ventilation duct created by the intermediate deck. Further on, emissions will be removed to the surface by connecting the duct to the ventilation cavern and a 4.5m-diameter and ventilation shaft 99m deep from the surface to the roadway level.

In addition to the underground structures themselves, structures connecting the tunnel to the existing road network, noise attenuation walls, portal parts and their stabilisation, service buildings at both portals, and fire protection, operation and settlement reservoirs etc. will be constructed within the framework of the construction in question.



## ZÁKLADNÍ ÚDAJE O STAVBĚ

název	„Ortsumgebung Garmisch-Partenkirchen mit Kramertunnel“
investor stavby	Spolková republika Německo, zastoupená Staatliches Bauamt Weilheim
zhotovitel stavby	ARGE Kramertunnel (BeMo Tunneling GmbH, Subterra a.s.)
silnice	B23
umístění stavby	Garmisch-Partenkirchen, Bavorsko, Německo
plánovaný termín výstavby	12/2019–09/2023
délka tunelové trouby	3609 m
předpokládané náklady stavby	178 mil. EUR (vč. DPH)

## SMYSL A VYUŽITÍ STAVBY

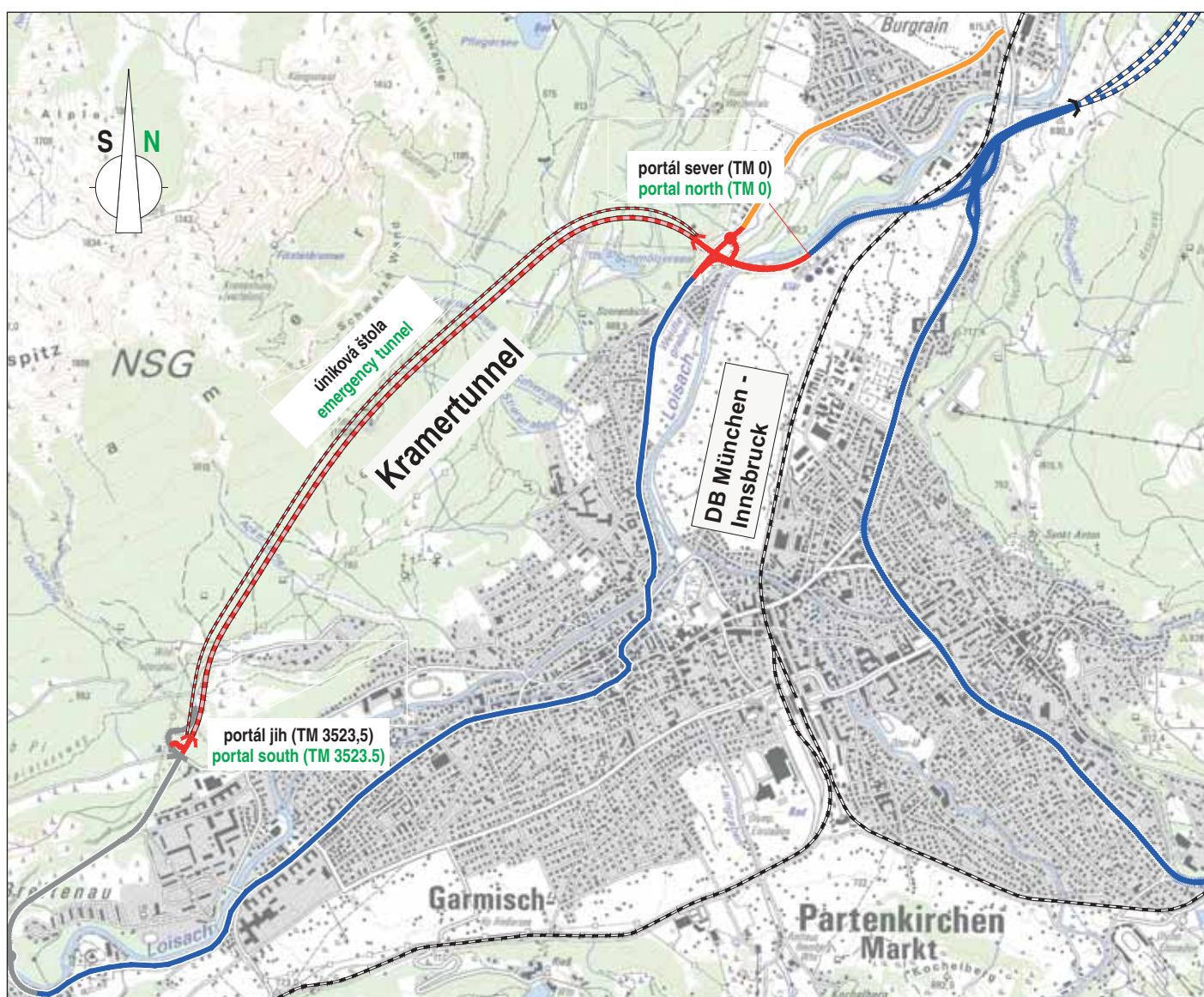
Realizovaný západní obchvat města Garmisch-Partenkirchen je součástí nadregionálního přeshraničního dopravního spojení mezi Německem a Rakouskem s celoevropsky významnými lyžařskými oblastmi a turistickými centry v Tyrolsku a dalšími na jih od Garmisch-Partenkirchenu (obr. 1).

## BASIC DATA ON THE PROJECT

name	„Ortsumgebung Garmisch-Partenkirchen mit Kramertunnel“
project owner	Federal Republic of Germany, represented by Staatliches Bauamt Weilheim
construction contractor	ARGE Kramertunnel (BeMo Tunneling GmbH, Subterra a.s.)
road	B23
construction location	Garmisch-Partenkirchen, Bavaria, Federal Republic of Germany
planned construction period	12/2019–09/2023
tunnel tube length	3609m
estimated construction costs	EUR 178 million (incl. VAT)

## PURPOSE AND USE OF THE PROJECT

The western by-pass of the town of Garmisch-Partenkirchen being under construction is part of inter-regional cross-border transport links between Germany and Austria and Europe-wide significant ski areas and tourist centres in Tyrol and others south of Garmisch-Partenkirchen (see Fig. 1).



Obr. 1 Přehledná situace stavby  
Fig. 1 Synoptic map of the project

Hlavním cílem stavby je odklonění tranzitní dopravy mimo pře-tížené centrum městské části Garmisch. Spolu se současně realizovaným tunelem Oberau a plánovanými tunely Wank a Auerberg dojde ke zvýšení plynulosti dopravy a snížení zátěže životního prostředí v celé dotčené oblasti. Trasování tunelu bylo determinováno zejména vhodnou polohou obou portálů z hlediska minimálního ovlivnění životního prostředí a také s ohledem na vedení trasy v dobrých geologických podmínkách.

Tunel je koncipován jako jednotubusový s obousměrným provozem, návrhová rychlost činí 70 km/hod.

Ve vzdálenostech max. 600 m budou v tunelu vybudovány jednostranné nebo oboustranné nouzové zálivy, ve kterých dojde k rozšíření profilu tunelu o 2,5 m. Bezpečnostní koncepce v případě mimořádné události v tunelu je zajištěna paralelně vedenou únikovou štolou dl. 3703 m, která bude s tunelem spojena pomocí 13 tunelových propojek. Minimální vzájemná vzdálenost propojek bude činit 195,5 m, maximální vzdálenost pak 398 m.

## GEOLOGIE

Projekt se nachází na severním okraji severních vápencových Alp, které tvoří součást Lechtalského souvrství. Horniny na severním úbočí masivu Kramer jsou tvořeny souvrstvími horního triasu, konkrétně souvrstvími dolomitů a vrstevnatých vápenců a Kössenským souvrstvím tvořeným vrstvami jílovců, slínovců a jílovitých vápenců, s ojedinělým výskytem sádrovců. Dá se předpokládat, že vrstva sádrovců zastižená při ražbě průzkumné štoly v TM 561 bude zasahovat i do prostoru hlavní tunelové trouby. Dolomitické vrstvy s mocností až 1000 m jsou převládajícím souvrstvím. Při ražbě ze severního portálu budou nejdříve zastiženy vrstevnaté vápence, které jsou tvořeny převážně lavicemi s malou až střední mocností, s tenkými vložkami slínovců. V prostředí vrstevnatých vápenců je očekáváno suché až vlhké horninové prostředí s ojedinělými výskytů podzemních vod ve formě úkapů, resp. drobných přítoků. Následně bude zastiženo Kössenské souvrství sestávající z tektonicky porušených vrstev Kramerského přesmyku. V některých úsecích budou zastižena souvrství s převládajícím podílem jílovitých břidlic.

Také v prostředí Kössenských vrstev je očekáváno suché až vlhké horninové prostředí s ojedinělými výskytů podzemních vod formou úkapů, resp. drobných přítoků. Kössenské vrstvy budou vystřídány horninovým prostředím historické sesuvné oblasti (Bergsturzberreich) v oblasti jezera Schmölzer, které sestává z kompaktních dolomitických bloků uložených v matici tvořené směsí štěrku a písků vzniklých zvětráním dolomitů. Hladinu spodní vody je nutno před zahájením ražeb v této oblasti snížit pod úroveň tunelu. Ve směru na jih budou Kössenské vrstvy vystřídány přes 1400 m dlouhým úsekem hlavní dolomitické formace. Toto souvrství obsahuje kompaktní lavicovitě uložené dolomity s vysokou pevností, stejně jako oblasti s vysokým stupněm porušení. Přítoky spodních vod jsou v dolomitických formacích generálně malé, v oblasti mezi TM 1218 a TM 1878 jsou očekávány oblasti zvodnělých poruchových pásem o vydatnosti až 60 l/sec.

Dolomitická souvrství budou až k oblasti portálu jih nahrazeny/vystřídány místně málo soudržnými kvartérmními horninami (Murschutt – zemní proudy), často s nulovou soudržností charakteru štěrku. Toto z pohledu ražeb obtížné pásmo dosáhne délky do 100 m, v této oblasti jsou také očekávány silné přítoky podzemních vod.

The main objective of the project is to divert transit transportation outside the congested centre of the town district of Garmish. Together with the Oberau tunnel being currently under construction and the planned Wank and Auerberg tunnels, the fluency of traffic will be improved and the burden on the environment will be reduced in the whole region. The tunnel route design was determined mainly by the location of both portals suitable in terms of minimising the impact on the environment and also with respect to the route designed to run through favourable geology.

The tunnel is designed as a single-tube structure with bidirectional traffic, the design speed amounts to 70km/h.

One-sided or double-sided emergency lay-bys, owing to which the tunnel profile width will be increased by 2.5m, will be constructed at maximum intervals of 600m. The safety concept in case of an extraordinary event inside the tunnel is ensured by a 3703m long parallel escape gallery, which will be connected with the tunnel by 13 cross-passages. The minimum and maximum spacing of the cross passages will amount to 195.5m and 398m, respectively.

## GEOLOGY

The project is located on the northern edge of the Northern Limestone Alps, which are part of the Lechtal Formation. The rock on the northern slope of the Kramer massif consists of the Upper Triassic layers, concretely formations of dolomites and bedded limestone, marlstone, and the Kössen Formation made up by layers of claystone, marlstone and clayey limestone with isolated occurrence of gypsum. It can be assumed that the gypsum layer encountered during the excavation of the exploratory gallery at chainage TM 56 will extend even to the space of the main tunnel tube. Dolomitic layers up to 1000m thick are the predominant formation. Bedded limestone formed predominantly by thin to medium thickness beds with thin marlstone interbeds will be encountered first during the course of the tunnel excavation from the northern portal. It is expected in the environment formed by bedded limestone that the rock will be dry up to humid, with isolated occurrence of groundwater in the form of dripping or small inflows. The Kössen Formation consisting of tectonically faulted layers of the Kramer thrust fault will be encountered subsequently. Formations with the predominant proportion of clayey shale will be encountered in some sections.

Dry to humid ground environment with isolated occurrence of groundwater in the form of dripping or small inflows is expected even in the environment of the Kössen Formation. The Kössen Formation will be replaced by the environment formed by a historic slide zone (Bergsturzberreich, Sturzstromarea) in the area of the Schmölzer Lake, consisting of compact dolomite blocks deposited in a matrix formed by a mixture of gravel and sand resulting from weathering of dolomites. It is necessary prior to commencing the tunnel excavation to lower the water table under the tunnel level in this area. To the south, the Kössen Formation will be replaced by an over 1400m long section of the main dolomitic formation. This formation comprises compact, tabularly deposited dolomites with high strength, as well as areas with a high degree of faulting. Groundwater inflows in the dolomitic formations are generally small; areas of water-bearing fault zones with the yield up to 60L/s are expected in the area between chainage TM 1218 and TM 1878.

Up to the area of the southern portal, the dolomitic formations will be replaced/substituted by locally little cohesive Quaternary ground (Murschutt), often with zero cohesion, with the character of gravel. The length of this zone, difficult in terms of excavation, will amount up to 100m; in addition, heavy groundwater inflows are expected in this area.



## PLÁNOVANÝ POSTUP PRACÍ

Termíny dokončení předmětných prací obecně vyplývají z plánovaného termínu zprovoznění celé stavby v roce 2024. Po přípravě zařízení staveniště (ZS) a hloubených částí na obou stranách tunelu začnou ražby z obou portálů. Ze strany jižního portálu budou ražby po dobu cca 6 měsíců probíhat paralelně na dvou čelbách. Jedna čelba bude ražena přímo z portálu, druhá čelba se otevře přístupem přes únikovou štolu a první průjezdnou propojku. Ražba na tomto pracovišti bude probíhat ve směru na jih, tzn. proti ražbě vedené z portálu. Tato varianta přinášející značné zkrácení času výstavby je náročná na logistiku a zvládnutí odvozu vznikajících objemů rubaniny v daném čase. V jeden časový okamžik tak budou v rámci stavby probíhat ražby tunelu na třech čelbách zároveň. Paralelně k ražbám hlavního tunelu budou probíhat i betonáže definitivního ostění, hloubení větrací šachty a práce v průzkumné štolě, včetně doražby její chybějící části v oblasti sesuvného pásma v délce 349 m. I z hlediska nasazení a koordinace výrobních kapacit se jedná o velmi složitou a komplexní stavbu.

## ZAŘÍZENÍ STAVENIŠTĚ

Předáním staveniště v prosinci 2019 započala fáze výstavby. Spolu se stavenišťem převzal zhotovitel od investora také povinnost provozovat a udržovat systém odvodnění území sesuv realizovaný v předstihu z průzkumné štolky. Systém odvodnění situovaný v ob-

## PLANNED WORK PROGRESSING

The deadlines for completion of the particular work operations generally follow from the planned deadline for opening the entire construction to traffic in 2024. After the preparation of the construction site accommodation and the cut-and-cover parts at both sides of the tunnel, the excavation will commence from both portals. The tunnel excavation from the southern portal side will proceed concurrently at two headings for ca 6 months. One heading will proceed directly from the portal, the second heading will be opened by an access through the escape gallery and the first cross passage passable for vehicles; the excavation at this workplace will proceed south, i.e. against the excavation proceeding from the portal. This variant, yielding significant reduction of the construction duration, is demanding on logistics and handling the removal and analysis of the volumes of muck generated in a given time. Thus, at one point in time, the tunnel will be excavated at three headings at the same time. Concreting of the final lining, sinking of the ventilation shaft and the work in the exploratory gallery, including the completion of the excavation of the missing part in the area of the 349m long slide zone, will proceed concurrently with the excavation of the main tunnel tube. The construction is very complicated and complex even from the aspect of deployment and coordination of production capacities.

## CONSTRUCTION SITE ACCOMMODATION

The construction work phase commenced by the site handover in December. Together with the construction site, the contractor took



Obr. 2 Zařízení staveniště, portál sever

Fig. 2 Construction site arrangement, northern portal



lasti severního portálu spočívá v odvodňovacích vrtech provedených z čelby severního úseku průzkumné štoly, z horizontálního vrtu přivádějícího podzemní vodu z jižního úseku průzkumné štoly a trubního vedení do místa vypouštění vod (říčka Loisach). První výkony na stavbě jsou reprezentovány realizací ZS na obou tunelových portálech, včetně úpravy ploch pro meziskládku rubaniny. Vzhledem ke vzdálenosti obou portálů a plánované koncepci výstavby je třeba vybudovat dvě plnohodnotná ZS.

Na severním portálu bude instalována mimo jiné mobilní betonárna a opravárenská hala (obr. 2). Část plochy se zpevní a provede se kompletní napojení na inženýrské sítě, včetně jejich přeložek. Odpadní voda ze stavby je upravována přes vodní hospodářství, na konci s neutralizační stanicí, a poté se vypustí do recipientu. ZS na portálu sever se částečně nalézá v prostoru bývalého kameolomu. Stávající prostor lomu šířky cca 50 m a délky cca 100 m s portálovou stěnou výšky cca 20 m představuje ideální stav pro zahájení ražby tunelu, z prostoru lomu byla ražena i průzkumná štola. Na ploše pro meziskládku rubaniny v rámci ZS se bude provádět analýza rubaniny z hlediska možné kontaminace a její nakládání na vozidla určená pro provoz na veřejných komunikacích.

ZS u jižního portálu (obr. 3) bylo realizováno v prostoru ZS vybudovaného v souvislosti s realizací průzkumné štoly. Stejně jako ZS sever je vybaveno vlastní mobilní betonárkou, opravárenskou halou, vodním hospodářstvím a zpevněnými plochami pro mezi-

over from the client also the obligation to operate and maintain the system of drainage of the slide zone, which had been carried out in advance, from the exploratory gallery. The drainage system located in the area of the northern portal comprises drainage boreholes carried out from the excavation face of the northern section of the exploratory gallery, a horizontal borehole bringing groundwater from the southern section of the exploratory gallery and a pipeline to the location of discharging water to the Loisach River. The first work on the construction site is represented by the establishment of construction site facilities at both tunnel portals, including the treatment of surfaces for intermediate stockpiles of muck. With respect to the distance between the portals and to the planned construction concept, it is necessary to build two full-fledged construction site arrangements.

At the northern portal, a mobile concrete batching plant and a repair hall will be built (see Fig. 2). Part of the area will be provided with hard surface and will be completely connected to utility networks, including their relocations. Wastewater from the site is treated via a water treatment plant with a neutralisation station at the end. Subsequently it is discharged to the recipient. The site arrangement at the northern portal is partially located in the space of a former quarry. The current ca 50m wide and ca 100m long space of the quarry with the ca 20m high portal wall provides an ideal condition for commencing the tunnel excavation; the exploratory gallery was also driven from the space of the quarry. Analysis of the muck from the point of view of the potential contamination will be conducted in the area for the intermediate



Obr. 3 Zařízení staveniště, portál jih

Fig. 3 Construction site arrangement, southern portal





Obr. 4 Hloubená část sever před zahájením ražeb

Fig. 4 Cut-and-cover part north before commencement of tunnel excavation

skládku rubaniny. Plochy podél příjezdové cesty se využijí na dočasnou meziskládku materiálu vhodného zejména pro zpětné zásypy hloubených částí.

Celková bilance hmot stavby je výrazně pozitivní, přebytek rubaniny, který je třeba uložit na skládku, resp. využít jiným způsobem, činí cca 430 000 tun. Uložení tohoto množství na trvalou deponii, resp. využití vhodného materiálu jako kamenivo do betonu, je jedním z důležitých úkolů zhotovitele.

## HLOUBENÉ ČÁSTI

Poloha severního portálu je dána morfologií bývalého kamenolomu, resp. stávající pozicí svislé stěny lomu (obr. 4). Stěny lomu jsou zajištěny v předstihu realizovanými lanovými sítěmi kotvenými pomocí tyčových svorníků. Ražená část tunelu i štoly začíná přímo v místě stěny lomu a bude chráněna předstítkem ze stříkaného betonu. Délka hloubené části tunelu činí 10,0 m. Pro dočasné zajištění portálové stěny se použije límec předstítku ze stříkaného betonu v oblasti přístropí a boků profilu o šířce 1,0 m a také deštník z jehel délky 4,0 m.

Hloubená část jižního portálu byla z podstatné části realizována v předstihu v souvislosti s ražbou únikové štoly (obr. 5). Odtěžení zbývající části před jižním raženým portálem proběhne pod ochranou převrtávané kotvené pilotové stěny, která zajistí jak samotnou portálovou stěnu, tak i západní stěnu jámy směrem

stockpile of muck within the framework of the site accommodation and for loading of muck on vehicles intended for use on public roads.

The site accommodation in the space of the southern portal (see Fig. 3) was also carried out in the space of the site accommodation built in the connection with the construction of the exploratory gallery. As in the case of the site accommodation North, it is equipped with its own concrete batching plant, a repair hall, a water treatment plant and hard surfaced areas for the intermediate stockpile of muck. The areas along the access road will be used for a temporary intermediate stockpile of material suitable first of all for backfilling of the cut-and-cover parts.

The overall mass balance is significantly positive; the surplus of muck which is to be deposited on stockpiles or be used in another way amounts to ca 430,000 tonnes. The deposition of this amount on a permanent dumping site, respectively using the suitable material as concrete aggregates, is one of important tasks for the contractor.

## CUT-AND-COVER PARTS

The location of the northern portal is determined by the morphology of the former quarry, respectively the current position of the vertical quarry face (see Fig. 4). The quarry walls are stabilised in advance with cable nets anchored with rod rockbolts. The mined part of the tunnel and the gallery begins just in the location of the quarry face. It will be protected by a shotcrete pre-



Obr. 5 Hloubená část jih  
Fig. 5 Cut-and-cover part south

k únikové štolě. Piloty budou průměru 1,20 m, každá druhá se zakončí pomocí předepjatých lanových kotev. Piloty budou opatřeny spřažením hlav ŽB trámem a kotveným ŽB prahem. Paralelně se západní pilotovou stěnou se provedou šterkové piloty pro akumulaci očekávaného velkého objemu podzemních vod potoka Dürerlaine, jehož tok v těchto místech trasu tunelu kříží. V prostoru za portálovou stěnou bude pro jímání spodních vod potoka Dürerlaine až do TM 3448 instalována galerie čerpacích studní. Galerie se provede paralelně s osou tunelu ve vzdálenosti cca 10 m od vnějšího profilu budoucího tunelu. Studny budou vrtány v průměru min. 880 mm, minimální průměr studny po vystrojení 600 mm. Čerpací kapacita jedné studny musí být schopna zvládnout množství až 100 l/s. Pro zajištění bezpečných a stabilních podmínek pro ražbu tunelové trouby bude z portálu realizován ochranný mikropilotový deštník dl. 20,0 m.

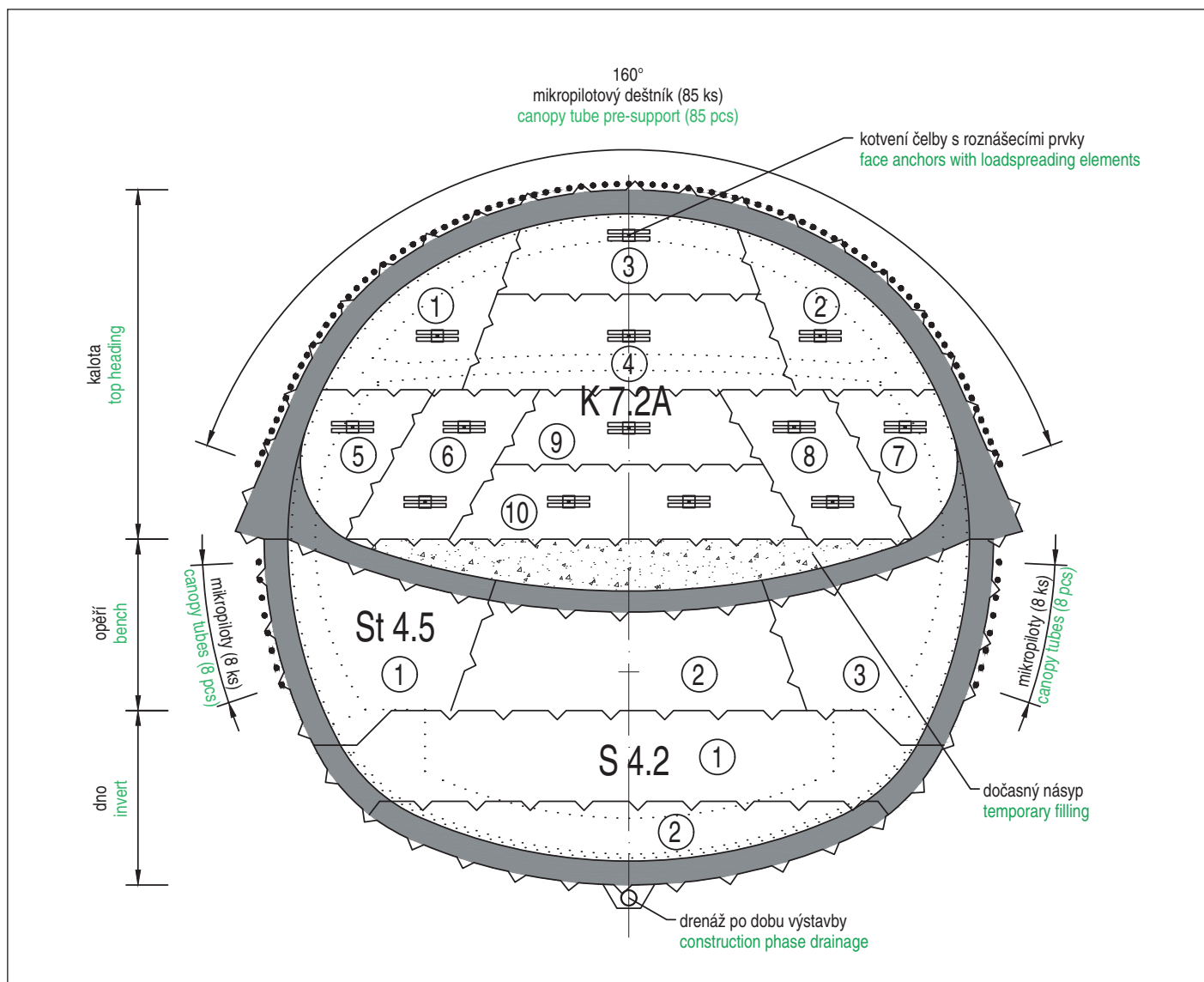
## RAŽBA

Ražba tunelu bude obecně probíhat cyklickým způsobem podle principů Nové rakouské tunelovací metody s členěním čelby tunelu na kalotu, opěří a dno. Ražba propojek bude probíhat postupně v závislosti na ražbě hlavního tunelu, propojky tak budou v průběhu výstavby zajišťovat možnost únikové cesty pro osádku na čelbě.

tunnel canopy. The length of the cut-and-cover part of the tunnel temporarily amounts to 10.0m. The temporary stabilisation of the portal wall will be solved by means of a 1.0m wide collar of the shotcrete pre-tunnel canopy beam in the area of the profile crown and sides and also by a roof canopy formed by 4.0m long spiles.

The cut-and-cover part of the southern portal was largely carried out in advance in connection with the excavation of the escape gallery (see Fig. 5). The excavation of the remaining part in front of the southern mined portal will be carried out under the protection of a secant pile wall, which will support both the portal wall itself and the western wall of the pit towards the escape gallery. The piles will be 1.20m in diameter; every other pile will be anchored with pre-stressed cable anchors. The piles will be provided with an RC beam interlocking the pile heads and an anchored RC waler. Gravel piles will be carried out in parallel with the western pile wall for accumulation of the anticipated large volume of groundwater generated by the Durerleine Brook, the flow of which crosses the tunnel route in this location. In the space behind the portal wall, a gallery of pumping wells will be installed to collect groundwater generated by the Durerleine Brook up to chainage TM 3448. The gallery will be carried out in parallel with the tunnel centre line at the distance of ca 10m from the external profile of the future tunnel. The wells will be bored with a diameter of min. 880mm; the minimum well diameter after underpinning the walls will amount to 600mm. The pumping capacity of one well has to be able to cope with the rate up to 100L/s. A 20m long protective canopy tube





Obr. 6 Technologická třída T-K 7.A-2  
Fig. 6 Excavation support class T-K 7.A-2

Vzhledem k zastiženým geologickým podmínkám se použijí v podstatné části trasy trhací práce, se značným využitím čerpané emulzní trhaviny. Rozpojování strojním způsobem bude probíhat v oblastech méně pevných hornin, resp. v oblastech s nepříznivými geotechnickými podmínkami (prostředí tělesa sesuvu, úsek u jižního portálu).

Pestrost zastižených geologických podmínek se promítá do počtu navržených technologických tříd ražby. Jen pro standardní tunelový profil je předpokládáno použití 9 technologických tříd pro kalotu, 7 technologických tříd opěří a 5 technologických tříd dna. Technologické třídy pro ražbu bezpečnostních zálivů, vzduchotechnické kaverny, únikové štoly a propojek pak tento výčet ještě podstatně navyšují. Generelně se typy předpokládaných technologických tříd kaloty pohybují v rozmezí od T-K 3.1 až po T-K 7.3 A s délkou záběrů v rozmezí od 3,0 m do 1,0 m (obr. 6).

U nejtěžších technologických tříd pro ražbu tunelu a únikové štoly 7.3 A bude ražba probíhat postupným otevíráním a zajišťováním výrubu pomocí dílčích ploch. V extrémním případě se pro bezpečné vedení ražby předpokládá použití až 22 dílčích ploch v kalotě, 6 dílčích ploch v opěří a 4 dílčí plochy ve dně tunelu. Při

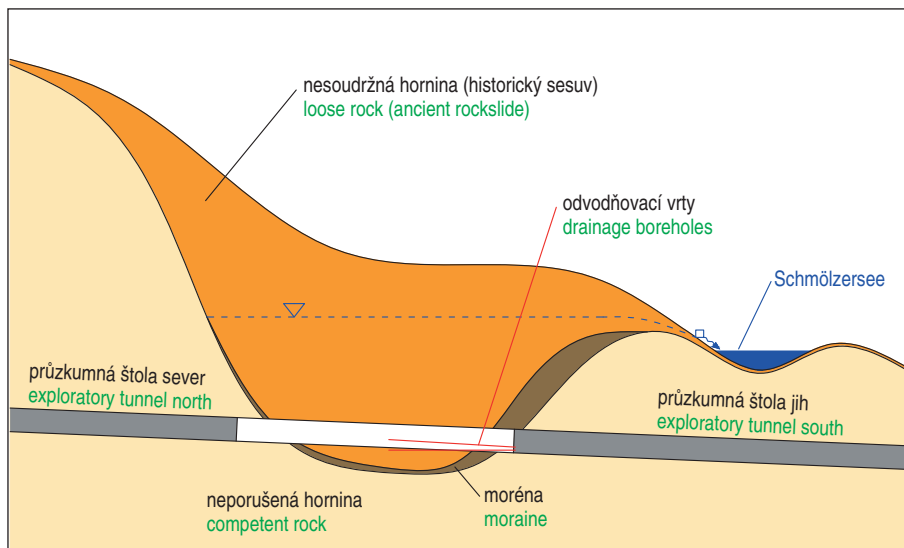
pre-support will be carried out from the portal to provide safe and stable conditions for the excavation of the tunnel tube.

## TUNNEL EXCAVATION

The tunnel will be excavated using a cyclical system based on the New Austrian Tunneling Method. The tunnel excavation sequence will comprise the excavation of the top heading, bench and bottom. Cross passages will be excavated step-by-step, following the excavation of the main tunnel. The cross passages will therefore provide the possibility of escape for the crew working at the heading.

With respect to the geological conditions encountered, blasting will be applied to the excavation within a substantial part of the route. Pumped emulsion explosives will be largely used. Mechanical disintegration of rock will be used in less strong rock areas, respectively in areas with unfavourable geotechnical conditions (the slide zone and the section at the southern portal).

The variety of the geological conditions encountered is reflected in the number of the excavation support classes designed. Just for the standard tunnel profile, 9 excavation support classes are assumed for the top heading, 7 classes for the bench and 5 support classes for the bottom. The list of excavation support classes designed for the excavation of the emergency lay-bys, the ventilation cavern,



Obr. 7 Situace sesuvného pásma (TM 520 do 884)  
Fig. 7 Slide zone situation (TM 520–884)

ražbě profilu únikové štoly je předpokládáno použití až 10 dílčích ploch.

#### Ražba ze severního portálu (TM 0)

Pro bezpečné vedení ražeb v oblasti sesuvu (obr. 7) se musí snížit hladina podzemní vody pod úroveň dna tunelu, ražby mohou být v uvedené oblasti zahájeny až po dosažení této podmínky. Snižování hladiny podzemních vod probíhá již od zahájení projektu pomocí v předstihu realizovaných odvodňovacích vrtů z čelby průzkumné štoly. Pro zvýšení efektu odvodnění masivu budou realizovány další odvodňovací vrtů z prostoru rozrážky v propojce č. 2. Propojka a rozrážka, resp. samotné provedení odvodňovacích vrtů, se provede s co největším časovým předstihem před samotnou ražbou tunelu tak, aby byl vytvořen dostatečný časový prostor pro snížení hladiny podzemní vody na požadovanou úroveň.

Dovrchní ražba hlavního tunelu z portálu sever v dobrých geologických podmínkách proběhne paralelně s opatřeními na snižování hladiny podzemní vody. Ražba tunelu a štoly v samotném pásmu sesuvu je po splnění podmínky snížení hladiny podzemní vody plánována následovně:

- ražba kaloty tunelu doprovázená dalšími opatřeními pro snižování hladiny podzemní vody pomocí vertikálních studní ve dně tunelu v celé délce pásma sesuvu;
- ražba únikové štoly doprovázená dalšími opatřeními pro snižování hladiny podzemní vody pomocí vertikálních studní ve dně tunelu v celé délce pásma sesuvu, s odstupem min. 150 m od kaloty hlavního tunelu;
- realizace ražeb opěří a dna hlavního tunelu a dna únikové štoly v celé délce pásma sesuvu.

Místo ukončení ražeb hlavního tunelu ze severu, a tedy i místo budoucí prorážky, je plánováno ve staničení TM 996, u štoly dojde k proražení do stávajícího jižního úseku štoly v TM 925.

#### Ražba z jižního portálu (TM 3523,5)

Úpadní ražby z jižního portálu se zahájí v návaznosti na zajištění hloubené části pilotovou stěnou, zprovoznění odvodňovacích opatření v hloubené části a úvodního úseku ražeb, a po realizaci mikropilotového deštníku. Protiražba kaloty tunelu přes první průjezdnou propojku proběhne paralelně s ražbou z portálu. Přístup na pracoviště, dopravní cesty a větrání bude zajištěno přes únikovou štolu.

the escape gallery and the cross passages is significantly extended. In general, the types of anticipated excavation classes designed for the top heading are ranging from T-K 3.1 to T-K 7.3, with the excavation round lengths ranging from 3.0m to 1.0m (see Fig. 6).

In the cases of the most difficult excavation support classes designed for the excavation of the tunnel and the escape gallery, 73A, the excavation will proceed by gradual opening and supporting of partial surfaces. In an extreme case, the use of 22 partial surfaces is assumed for safe excavation of the top heading, 6 partial surfaces for the bench and 4 partial surfaces for the tunnel bottom. The use of up to 10 partial surfaces is anticipated for the excavation of the escape gallery.

#### Tunnel excavation from the northern portal (TM 0)

The safe excavation of the tunnel in the area of the slide zone (see Fig. 7) will require lowering of the water table under the tunnel

bottom level. The excavation in the above-mentioned area may commence only after this condition is met. The process of lowering the water table has already been in progress since the start of the project, using drainage boreholes carried out from the excavation face of the exploratory gallery. Additional drainage boreholes will be carried out from the space of the tunnel stub for excavation of cross passage No. 2, designed for the purpose of increasing the effect of the massif drainage. The cross passage and the tunnel stub, respectively the execution of the drainage boreholes itself, will be excavated at as great time advance of the tunnel excavation itself as possible so that a sufficient space of time is provided for lowering the water table to the required level.

In good geological conditions, the excavation of the main tunnel from the northern portal will proceed concurrently with the measures for lowering the water table. The excavation of the tunnel and the gallery in the slide zone itself is planned, after meeting the condition for lowering the water table, as follows:

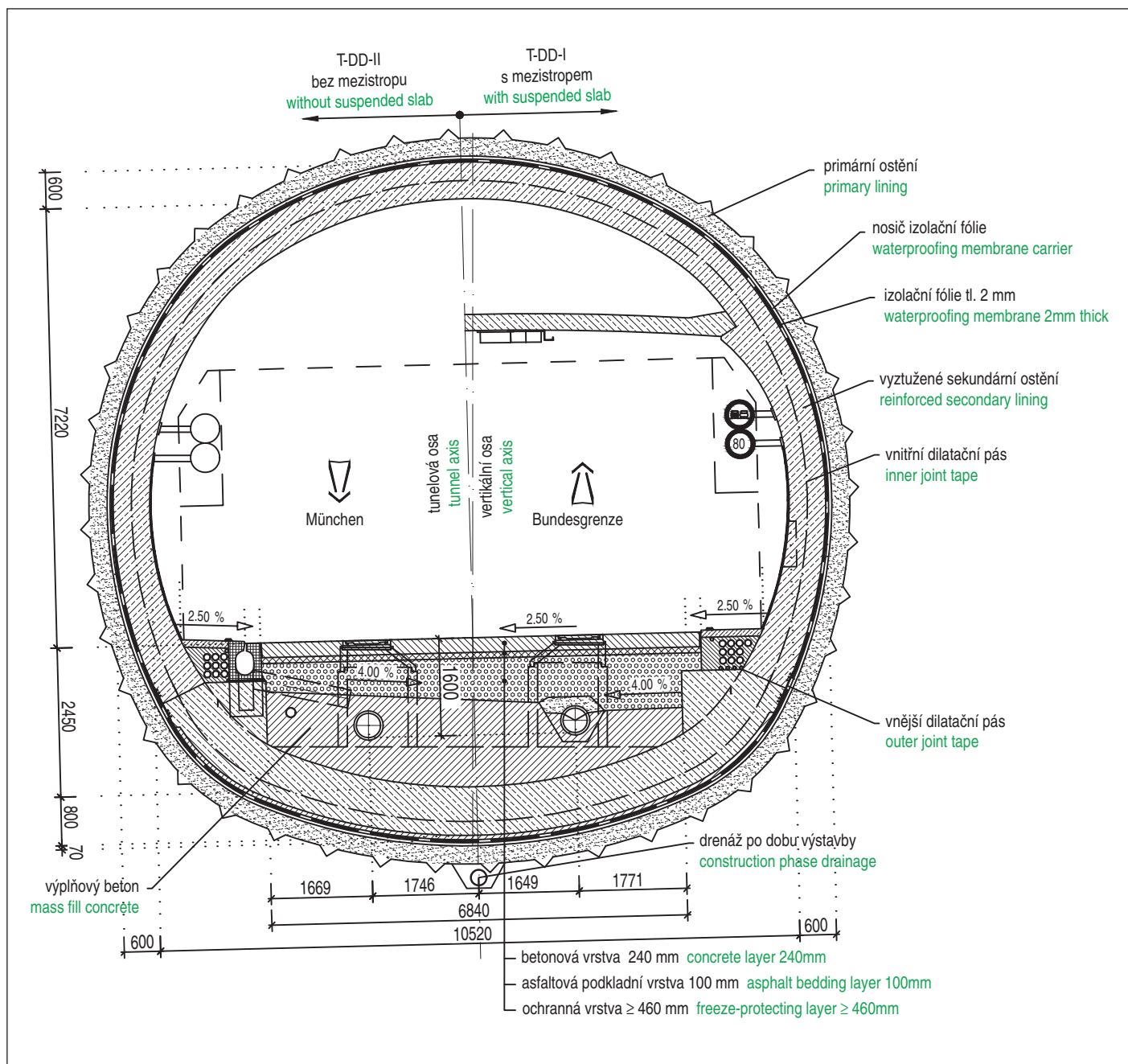
- tunnel top heading excavation accompanied by other measures for lowering the water table using vertical wells in the tunnel bottom throughout the length of the slide zone;
- excavation of the escape gallery accompanied by other measures for lowering the water table using vertical wells in the tunnel bottom throughout the length of the slide zone, carried out at the distance of 150m behind the main tunnel top heading;
- completion of the excavation of the bench and bottom of the main tunnel and the bottom of the gallery throughout the length of the slide zone.

The point of termination of the main tunnel excavation from the north, thus also the point of the future breakthrough, is planned for chainage metre TM 996; the gallery will be broken through into the current southern section of the gallery at chainage TM 925.

#### Tunnel excavation from the southern portal (TM 3523.5)

The downhill tunnel excavation from the southern portal will commence in succession of the stabilisation of the cut-and-cover part by the pile wall, putting into operation the drainage measures in the cut-and-cover part and the initial section of the tunnel excavation and after implementation of the canopy tube pre-support. The tunnel calotte counter-heading via the first cross passage passable for vehicles will proceed in parallel with the excavation from the portal. The access to the workplace, the transportation ways and the ventilation will be provided through the escape gallery.





Obr. 8 Vzorový příčný řez tunelu  
Fig. 8 Typical tunnel cross-section

## DEFINITIVNÍ OSTĚNÍ

Realizace definitivního ostění proběhne z jižního portálu směrem na sever. Pro tunel i štolu je uvažováno vždy s dvojicí betonovacích komplexů, které budou v tunelu doplněny bedněním pro betonáž mezistropu. Definitivní ostění se provede šachovnicovým způsobem, první bednění bude betonovat pouze liché pásy, druhé bednění pak pásy sudé. Součástí všech nasazených betonovacích komplexů budou i ošetřovací vozy pro splnění dodatečných smluvních technických podmínek pro inženýrské stavby (ZTV-ING).

Standartní délka tunelových pásů činí 12,0 m, resp. 10,0 m v oblastech s ostěním z vodonepropustného betonu. Realizovány budou tunelové pásy převážně z prostého betonu. Tunelové pásy s mezistropem se vyztuží lokálně. Vyztužené pásy se provedou v oblastech geologicky/geotechnicky náročných, v oblastech s aplikací

## FINAL LINING

The final lining will be generally constructed from the southern portal towards the north. A pair of concrete casting complexes is planned for the tunnel and the gallery. In the case of the tunnel, they will be completed with the formwork for concreting the intermediate deck. The final lining will be carried out in an alternating pattern, i.e. the first and second formwork sets will be used only for odd and even blocks, respectively. Concrete curing travelling scaffolds intended to meet the additional contractual technical conditions for civil engineering construction ZTV-ING will be part of all concrete casting complexes employed.

The standard length of the tunnel lining blocks will amount to 12.0m, respectively 10.0m in the areas with the water-impervious concrete lining. Unreinforced concrete lining blocks will be mostly carried out in the tunnel. The concrete tunnel lining blocks with

tlakové izolace a v pásech s propojkami, resp. pásech, ve kterých budou osazeny axiální ventilátory.

Z důvodů zvýšení požární odolnosti definitivního ostění bude použit beton s příměsí polypropylenových vláken. Minimální tloušťky ostění budou činit 30 cm u nevyztužených, resp. lokálně vyztužených pásů, a 35 cm u pásů vyztužených. V únikové štolě budou minimální tloušťky ostění činit 25 cm u nevyztužených a 30 cm u pásů vyztužených.

Podle zastižených geotechnických podmínek se určí způsob provedení dna tunelu. V místech se stabilním skalním podložím bude dno provedeno jako otevřené s ostěním uloženým na podélných ŽB pásech. Armované dno bude realizováno pouze v oblastech s náročnými geotechnickými podmínkami, jako jsou oblasti zvětralých hornin nebo poruchová pásma, a také v oblastech s tlakovou izolací. Minimální hodnoty tloušťky dna budou činit 50 cm, v oblastech s tlakovou izolací min. 60 cm, v oblasti pásma sesuvu min. 80 cm a u konstrukcí z vodonepropustného betonu pak 70 cm. Minimální mocnost dna únikové štoly bude 45 cm, v oblastech s tlakovou izolací min. 50 cm, v oblasti pásma sesuvu min. 70 cm a u konstrukcí z vodonepropustného betonu pak 60 cm (obr. 8).

Součástí definitivního ostění tunelu je i mezistrop z armovaného betonu vytvářející vzduchotechnický kanál pro odtah zplodin. Ten proběhne přes otvory v mezistropu o rozměrech 4,0×3,0 m umístěnými v pravidelných rozestupech. Mezistrop bude realizován v hlavním tunelu v celkové délce 2462 m v oblasti od TM 1152 do TM 3614. V místech nouzových zálivů se konstrukce mezistropu doplní o vertikální závěsy kotvené do definitivní klenby tunelu.

Na obou portálech se provedou hloubené části z armovaného vodonepropustného betonu s pásy dl. max. 10,0 m. Délky hloubených částí tunelu jsou 75,0 m na jižním a 10,0 m na severním portálu. Délky hloubených částí únikové štoly budou činit 15,0 m na jižním a 2,5 m na severním portálu.

## ZÁVĚR

Stavba tunelu Kramer představuje svým rozsahem, časovým plánem, zastiženými geotechnickými podmínkami a množstvím potřebných personálních a strojních kapacit komplexní a komplikovanou stavbu. Z tunelářského hlediska představuje výzvu zejména ražba tunelu a únikové štoly v geologickém prostředí sesuvu, kdy podmínkou pro bezpečné a efektivní vedení ražeb představuje zvládnutí problematiky podzemní vody, resp. jejího snížení na požadovanou úroveň. Spolu s investorem stojí realizační tým před nelehkým úkolem. Cílem všech na výstavbě projektu zúčastněných subjektů bude dokončení díla v požadovaném termínu a odpovídající kvalitě.

*Ing. JIŘÍ PATZÁK,*  
*jpatzak@subterra.cz, Subterra a.s.,*  
*Dipl.-Ing. TOBIAS SCHRAMM,*  
*tobias.schramm@bemo.net,*  
*Ing. DANIEL JOSEFIK,*  
*djosefik@subterra.cz, ARGE Kramertunnel*

*Recenzoval Reviewed: Ing. Jan Frantl*

Zdroj fotografií:  
 ARGE Kramertunnel  
 Staatliches Bauamt Weilheim

the intermediate deck will be reinforced locally. The reinforced concrete blocks will be carried out in geologically/geotechnically complicated areas, in areas where pressure-resistant waterproofing will be applied and in the cross passage lining blocks, respectively in the blocks where axial fans will be installed.

Concrete with the admixture of polypropylene fibres will be used with the objective to increase the fire resistance of the final lining. The minimum thickness of the unreinforced or locally reinforced concrete blocks and reinforced concrete lining blocks will amount to 30cm and 35cm, respectively. In the escape gallery, the minimum thickness of the unreinforced and reinforced lining blocks will amount to 25cm and 30cm, respectively.

The design for the construction of the tunnel bottom will also be determined with respect to the geotechnical conditions encountered. In the locations with stable rock sub-base, the bottom will be carried out as an open system placed on longitudinal RC continuous footings. The reinforced concrete bottom will be used only in the areas with demanding geotechnical conditions, such as areas of weathered rock of fault zones, and also in areas with pressure-resistant waterproofing. Minimum values of the bottom thickness will amount to 50cm, whilst in the areas with pressure-resistant waterproofing the minimum thickness will amount to 60cm, in the slide zone to 80cm and in water-impervious structures to 70cm. The minimum thickness of the escape gallery bottom will amount to 45cm, in the areas with pressure-resistant waterproofing to 50cm, in the area of the slide zone to 70cm and in the case of water-impervious concrete structures to 60cm.

A reinforced concrete intermediate deck forming the ventilation duct for removal of emissions will also be part of the final tunnel lining. Emissions will be drawn off through openings in the intermediate deck with the dimensions of 4.0m×3.0m, located at regular intervals. The intermediate deck will be carried out in the main tunnel along the total length of 2462m in the area from TM 1152 to TM 3614. In the locations of emergency lay-bys, the intermediate deck structure will be completed with vertical suspension rods anchored in the tunnel final lining vault.

Reinforced water-resistant concrete cut-and-cover parts with maximally 10m long concrete casting blocks will be carried out at both portals. The lengths of the cut-and-cover parts of the tunnel at the southern and northern portals amount to 75.0m and 10.0m, respectively. The lengths of the cut-and-cover parts of the escape gallery at the southern and northern portals will amount to 15.0m and 2.5m, respectively.

## CONCLUSION

The Kramer tunnel construction represents a complex and complicated problem in terms of its scope and schedule, the geotechnical conditions encountered and the amount of necessary personnel and mechanical capacities. From a tunnelling perspective, the challenge is represented mainly by the excavation of the tunnel and the escape gallery in the slide zone, where the condition for safe and effective execution of the excavation is to master the problems of groundwater, respectively lowering the water table to the required level. Together with the project owner, the implementation team faces a difficult task. The objective of all subjects participating in the implementation of the project will be to complete the works in the required time and adequate quality.

*Ing. JIŘÍ PATZÁK,*  
*jpatzak@subterra.cz, Subterra a.s.,*  
*Dipl.-Ing. TOBIAS SCHRAMM,*  
*tobias.schramm@bemo.net,*  
*Ing. DANIEL JOSEFIK,*  
*djosefik@subterra.cz, ARGE Kramertunnel.*

Source of photographs:  
 ARGE Kramertunnel  
 Staatliches Bauamt Weilheim



# TUNELY NA STAVBÁCH DOPRAVNEJ INFRAŠTRUKTÚRY NA SLOVENSKU

## TUNNELS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE PROJECTS IN SLOVAKIA

MILOSLAV FRANKOVSKÝ, JÁN KUŠNÍR

### ABSTRAKT

Výstavba tunelov na stavbách dopravnej infraštruktúry na Slovensku v období medzi rokmi 2010 a 2020 prekonala svojou intenzitou všetky dekády od polovice dvadsiateho storočia. Na základe analýzy prípravy tunelov na železničnej sieti a sieti diaľnic a rýchlostných ciest je možné predpokladať, že v nadchádzajúcom desaťročí dôjde k určitému zníženiu tejto intenzity. Toto zníženie je ovplyvnené menej optimistickou prognózou modernizácie železničných tratí, ale aj nevyriešenými otázkami súvisiacimi s ďalším postupom výstavby diaľnic a rýchlostných komunikácií. Každopádne je primerané očakávanie, že v najbližších rokoch bude pokračovať prerušená výstavba úseku diaľnice D1 Lietavská Lúčka – Dubná Skala s tunelom Višňové a tiež, že konečne bude začatá výstavba úseku diaľnice D1 Turany – Hubová s tunelmi Korbelka a Havran, čím sa priblíži dlhočakávaný cieľ, dokončenie diaľnice D2 z Bratislavy do Košíc.

### ABSTRACT

Construction of tunnels of transport infrastructure projects in Slovakia in the period between 2010 and 2020 exceeded all decades from the middle of the twentieth century in terms of its intensity. It is possible to expect on the basis of the analysis of preparation of tunnels on the railway network and the network of motorways and express highways that certain decrease in this intensity will take place in the coming decade. This decrease is influenced by the less optimistic prognosis of modernisation of railway tracks, but also by unresolved issues related to the further progress of the development of motorways and express highways. In any case, the expectation that the suspended construction of the Lietavská Lúčka – Dubná Skala section of the D1 motorway containing the Višňové tunnel will continue in the coming years and that the construction of the Turany – Hubová section of the D1 motorway containing the Korbelka and Havran tunnels will finally begin is reasonable. This will bring us closer to the long-awaited goal, completion of the D1 motorway from Bratislava to Košice.

### ÚVOD

Výstavba dopravných tunelov na Slovensku prebiehala počas predošlých 25 rokov s rôznou intenzitou. Po období opatrného začiatku, keď sa v období rokov 1996 až 2009 postupne vybudovali a uviedli do prevádzky štyri moderné diaľničné tunely, pokúsila sa slovenská vláda akcelerovať výstavbu prostredníctvom troch projektov verejno-súkromného partnerstva (PPP projektov) na výstavbu a prevádzku diaľnic a rýchlostných ciest. Dva z troch v tom čase pripravovaných PPP projektov, zahrňujúce aj sedem tunelov, boli v roku 2010 zastavené a ukončené ešte v etape prípravných prác, najmä vzhľadom na ich extrémnu finančnú náročnosť. Výstavba diaľnic sa opätovne rozbiehala od roku 2011 postupmi verejného obstarávania, pričom jej financovanie bolo zabezpečené kombinovaním zdrojov štátneho rozpočtu a eurofondov. V období medzi rokmi 2010 a 2020 začala výstavba dvoch železničných a deviatich diaľničných tunelov, pričom dokončený a uvedený do prevádzky bol jeden železničný a štyri diaľničné tunely. Túto dekádu je možné hodnotiť pozitívne ako desaťročie s najintenzívnejšou výstavbou tunelov od obdobia medzi dvomi svetovými vojnami, keď celková vyrazená dĺžka tunelových rúr presiahla 37 km. V horizonte najbližších rokov sa očakáva vyšší počet dokončených tunelov v porovnaní s predošlou dekadou, keď by do prevádzky malo byť uvedených šesť diaľničných a dva železničné tunely. Počet tunelov so začatou výstavbou bude s vysokou pravdepodobnosťou nižší než v práve uplynulom desaťročí.

Analýza prípravy a výstavby dopravných tunelov na Slovensku nadväzuje na článok „Perspektívy výstavby dopravných tunelov na území Slovenska“ uverejnený v časopise Tunel č. 1/2013.

### INTRODUCTION

The construction of transport tunnels in Slovakia was under way during past 25 years with varying intensity. After a period of cautious start, when four modern motorway tunnels were constructed and opened to traffic in the 1996 to 2009 period, the Slovak government tried to accelerate the development through three public-private partnership (PPP) projects for development and operation of motorways and express highways. Two of the three PPP projects being under preparation at that time, comprising even seven tunnels, were suspended and terminated still at the stage of preparation work in 2010, first of all with respect to their extreme financial demands. Development of motorways started to recommence in 2011 by public procurement procedures, with funding provided by combined resources from the state budget and European funds. Construction of two railway and nine motorway tunnels started in the period between 2010 and 2020, with one railway and four motorway tunnels really completed and opened to traffic. It is possible to assess this decade positively, as a decade with most intense construction of tunnels since the period between two World Wars, where the total length of excavated tunnel tubes exceeded 37km. A higher number of completed tunnels in comparison with the previous decade are expected in the horizon of the coming years, during which six motorway and two railway tunnels should be inaugurated. The number of tunnels newly under construction will be with high probability lower than that in the just ended decade.

The analysis of preparation and construction of transport tunnels in Slovakia follows the paper “Perspectives of development of



Obr. 1 Sekundárne ostenie tunela Diel  
Fig. 1 Secondary lining of the Diel tunnel

## ŽELEZNIČNÉ TUNELY

### Tunely v prevádzke

Dnes sa píše rok 2020 a je možné konštatovať, že tunel Turecký Vrch, ktorým sa začala novodobá éra budovania tunelov na železničnej sieti na Slovensku, uvedený do prevádzky v roku 2012, patrí už tiež do minulosti. Spolu je dnes 76 prevádzkovaných tunelov (68 jednokoľajných a 8 dvojkolajných). Väčšina z nich, celkom 62 tunelov, bola vybudovaná medzi rokmi 1902 a 1966. Medzi najvýznamnejšie patria Bralský tunel s dĺžkou 3012 m, Telgártsky tunel na trati Margecany – Červená skala známy špirálovým smerovým vedením prekonávajúcím 40metrový výškový rozdiel, najdlhší Čremošnianský tunel s dĺžkou 4698 m a najdlhší dvojkolajný tunel Bujanovský s dĺžkou 3410 m.

### Tunely vo výstavbe

Na modernizovanej železničnej trati na rýchlosť 160 km/h medzi Bratislavou a Žilinou prebieha výstavba posledného a zároveň najkomplikovanejšieho úseku medzi mestom Púchov a obcou Považská Teplá. V osi modernizovanej trate sa nachádzajú dva novobudované jednorúrové dvojkolajné tunely Diel (obr. 1) a Milochovo (obr. 2), o ktorých sú pravidelne publikované informácie v časopise Tunel v rubrike „Aktuality z podzemných stavieb v Českej a Slovenskej republike“. Pred siedmimi rokmi bola uverejnená informácia o dvadsiatiach dvoch

traffic and transportation tunnels in Slovakia” published in Tunel journal No. 1/2013.

## RAILWAY TUNNELS

### Tunnels in operation

Today is the year 2020 and it is possible to state that the Turecký Vrch tunnel, through which the modern era of construction of tunnels on the railway network in Slovakia commenced and which was inaugurated in 2012, also already belongs to the past. Together we have today got 76 operating tunnels (68 single-track and 8 double-track ones). The majority of them, 62 tunnels in total, were constructed between 1902 and 1966. Among the most important there are the 3012m long Bralský tunnel, the Telgárt tunnel on the Margecany – Červená Skala rail track known by its spiral horizontal alignment overcoming a height difference of 40m, the longest Čremošniany tunnel with the length of 4698m and the longest double-track tunnel, the 3410m long Bujanov tunnel.

### Tunnels under construction

On the rail track being upgraded to the speed of 160km/h between Bratislava and Žilina, there is the last and at the same time most complicated section under construction between the town of Púchov and the municipality of Považská Teplá. On the centre line of the track being upgraded there are two single-tube double-track tunnels being newly constructed, the Diel (see Fig. 1) and the Milochovo (see Fig. 2). You have been regularly informed about them in Tunel journal columns “Current news in underground construction in the Czech Republic and Slovak Republic”. Seven years ago, information was published about twenty railway tunnels for which the zoning and planning decision had been issued; today the situation is less optimistic. Twenty tunnels remained at the stage of the zoning and planning decision and construction checks will rather expect us after completion of the Diel and Milochovo tunnels.

### Tunnels under design preparation

Of the projects under preparation, the reconstruction of the Štubná single-track tunnel lying on the Prievidza – Handlová – Horná Štubňa rail line is closest to implementation. Its length amounts to 646m and its horizontal alignment is on a curve with  $R=300m$ . Because of water leaking into the tunnel space, the design



Obr. 2 Razenie tunelu Milochovo  
Fig. 2 Excavation of the Milochovo tunnel





Obr. 3 Štubniansky tunel  
Fig. 3 Štubná tunnel

železničných tuneloch, pre ktoré bolo vybavené územné rozhodnutie, dnes je situácia menej optimistická. Dvadsať tunelov ostalo na úrovni územného rozhodnutia a po dokončení tunelov Diel a Milochov je možné očakávať útlm výstavby.

#### Tunely v projektovej príprave

Z pripravovaných projektov je najbližšie k realizácii rekonštrukcia jednokoľajného Štubnianskeho tunela, ktorý leží na trati Prievidza – Handlová – Horná Štubňa. Jeho dĺžka je 646 metrov a smerovo je vedený v oblúku  $R=300$  m. Z dôvodu zatekania do priestoru tunela bola vypracovaná dokumentácia jeho sanácie a v roku 2019 bolo na stavbu vydané stavebné povolenie (obr. 3 a 4).

V rámci programu modernizácie železničných tratí ŽSR na rýchlosť do 160 km/h bolo vyprojektovaných viacero tunelových stavieb v rôznych úrovniach podrobnosti (tab. 1).

Tunel Kýčera, ktorý je súčasťou pripravovanej modernizovanej trate šiesteho koridoru Žilina – Čadca – Skalité – štátne hranice SR/PR/ČR, je spracovaný na úrovni pre stavebné povolenie. Momentálne sa pre tento úsek spracováva aktualizácia štúdie realizovateľnosti, ktorá preukáže, či sa tunelový variant posunie do realizačnej úrovne.

Najväčší počet železničných tunelov bolo v minulosti navrhnutých na modernizovanej trati od Liptovského Mikulášu až po Košice. Tento celý modernizovaný úsek je rozdelený na štyri samostatné stavby.

#### Liptovský Mikuláš – Poprad Tatry (mimo)

Tento úsek sa delí na 5 stavieb. 1. Poprad (mimo stanice) – Lučivná, 2. Lučivná – Važec (mimo), 3. Važec – Východná (mimo), 4. Východná – Lipt. Hrádok (mimo) a 5. Lipt. Hrádok – Palúdzka. Na prvý úsek, ktorý je bez

for its rehabilitation was carried out and the construction permit was issued already in 2019 (see Figures 3 and 4).

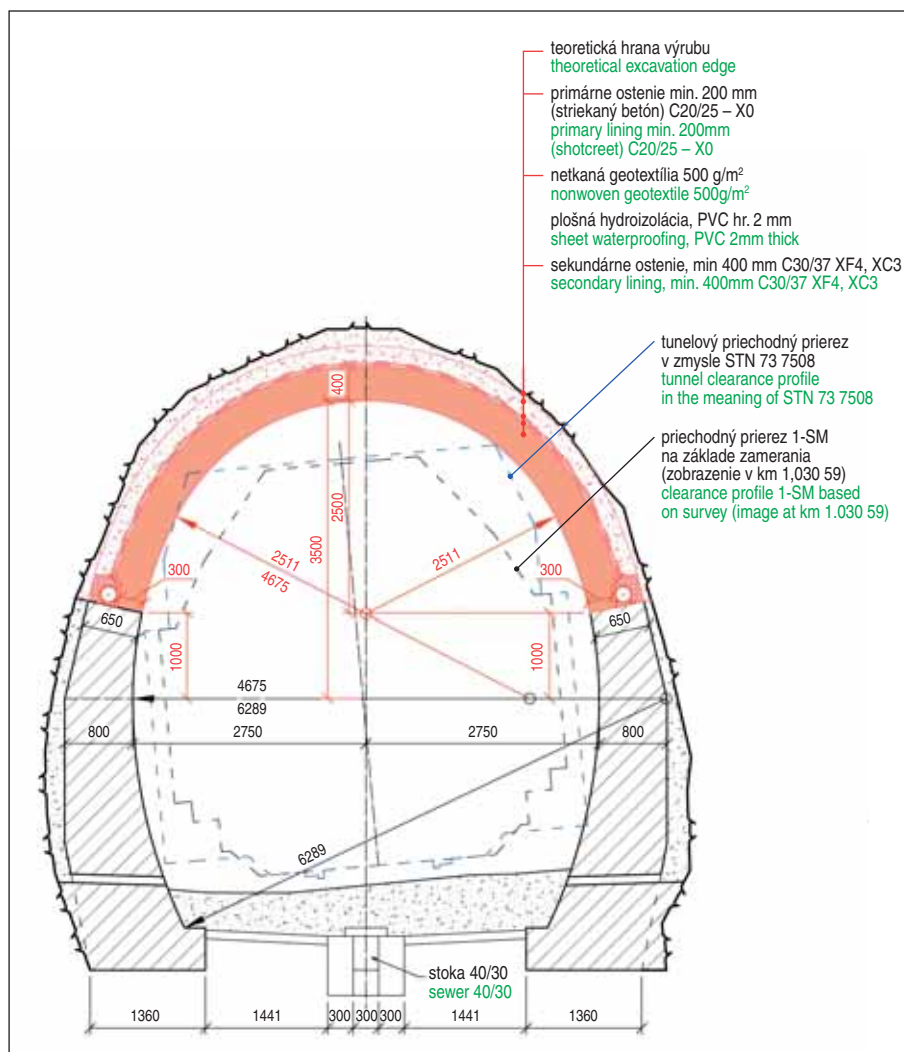
Several tunnel construction designs were carried out at various detail levels (see Table 1) within the framework of the program of upgrading railway tracks operated by the Railways of the Slovak Republic to the speed of 160km/h.

The Kýčera tunnel, which is part of the modernised track of the sixth corridor Žilina – Čadca – Skalité – SR/PR/CR state border under preparation is carried out at the level for construction permit. At the moment, updated feasibility study for this section is being carried out. It will prove whether the tunnel variant will be shifted to the implementation level.

The biggest number of railway tunnels were designed in the past for the track from Liptovský Mikuláš to Košice to be modernised. This entire section to be modernised is divided into four separate construction lots.

#### Liptovský Mikuláš – Poprad Tatry (not included)

This section is divided into 5 construction lots. Lot No.1 Poprad (excepting station) – Lučivná, No. 2 Lučivná – Važec (excepting),



Obr. 4 Vzorový pričný rez sanovaného ostenia Štubnianskeho tunela  
Fig. 4 Typical cross-section through rehabilitated lining of the Štubná tunnel

Tab. 1 Pripravované železničné tunely na modernizovanej trati  
Table 1 Tunnels under preparation on the railway track being upgraded

č. No.	úsek section	názov tunela tunnel name	dĺžka (m) length (m)	súčasný stav spracovanej projektovovej dokumentácie current state of design documents
1	štátna hranica ČR/SR – Čadca – Krásno nad Kysucou (mimo) CR/SR state border – Čadca – Krásno nad Kysucou (not included)	Kýčera	4 240	pre stavebné povolenie for construction permit
2	Liptovský Mikuláš – Poprad	Palúdzka	730	pre realizáciu stavby for construction execution
3		Červený Kút	4 866	pre realizáciu stavby for construction execution
4		Zámčisko	155	pre realizáciu stavby for construction execution
5		Dúbrava	1 372	pre realizáciu stavby for construction execution
6		Hencnava	1 067	pre realizáciu stavby for construction execution
7		Štrba	2 840	pre realizáciu stavby for construction execution
8		Kolombiarok	1 215	pre realizáciu stavby for construction execution
9	Poprad – Krompachy	Španí Háj	720	pre stavebné povolenie for construction permit
10		Kalmanka	530	pre stavebné povolenie for construction permit
11		Chrasť	350	územné rozhodnutie zoning and planning decision
12		Olcnavá	1 380	územné rozhodnutie zoning and planning decision
13		Kolinovice	880	územné rozhodnutie zoning and planning decision
14	Krompachy – Kysak	Turnisko	1 270	pre územné rozhodnutie for zoning and planning decision
15		Kluknava	640	pre územné rozhodnutie for zoning and planning decision
16		Uhliská	1 030	pre územné rozhodnutie for zoning and planning decision
17		Margecany	760	pre územné rozhodnutie for zoning and planning decision
18		Holica	1 730	pre územné rozhodnutie for zoning and planning decision
19		Kysak	992	pre územné rozhodnutie for zoning and planning decision
20	Kysak – Košice	Ťahanovce	815	pre realizáciu stavby for construction execution

tunelov, prebehla súťaž na výber zhotoviteľa a čaká sa na začiatok stavby. Na piaty úsek, kde je navrhnutý hĺbený tunel Palúdzka o dĺžke 730 m, sa vybavuje stavebné povolenie, ktoré však bolo pribrzdené aktualizáciou procesu EIA. Pre úseky 2 až 4, kde je vyprojektovaných 6 tunelov, nebol vydaný pokyn na získanie stavebného povolenia a momentálne sa spracováva úprava projektu, kde sa už nepočíta so žiadnou tunelovou stavbou, resp. kde už nie je v modernizovanej trati uvažované zrýchlenie na 160 km/h.

east of the country, where mountainous regions are located and demands on preparation and funding of the track to be modernised increase, requirements for the speed started to decrease. Authors of this paper do not agree with this trend and believe that this development will still be changed and all people in Slovakia will be able to travel fast.

Many of the older tunnels in operation require reconstruction. Railways of the Slovak Republic, within the framework of their capabilities, order the work on design documents; the design

No. 3 Važec – Východná (excepting), No. 4 Východná – Lipt. Hrádok (excepting) and No. 5 Lipt. Hrádok – Palúdzka. Procurement competition for the first section, which is without tunnels, has been finished and the commencement of the construction is waited for. Construction permit is being provided for the fifth section, where the 730m long Palúdzka tunnel is designed. The issuance was hindered by updating the EIA process. Regarding sections No. 2 through to 4 where the design was carried out for 6 tunnels, the instruction for obtaining the construction permit has not been issued and a modification of the design is currently being worked on. No tunnel structure is planned for the sections, respectively the acceleration to 160km/h is not planned for the track to be upgraded.

#### Poprad Tatry – Krompachy

Reaching the speed of 160km/h is today also not required for this section and, for that reason, only the Španí Vrch and Kalmanka of the originally proposed five tunnels got to the next degree of elaboration.

#### Krompachy – Kysak

The section of the railway track linking Spiš with Šariš will newly comprise only the reconstruction of the Bujanov tunnel (see Fig. 5). All newly proposed tunnels are left out. The form of the Bujanov tunnel reconstruction is at the moment being solved on the basis of safety requirements for the operation. Two alternatives are under consideration. Enlarging the existing tunnel in operation or constructing a new single-track tunnel and reconstructing the existing tunnel into a single-track one.

#### Kysak – Košice

This section comprises a newly proposed tunnel near the Ťahanovce municipal district of Košice. The Ťahanovce tunnel is at the moment in operation, but the new alignment of the track and modification of the horizontal alignment required shifting of the tunnel into a new position. This tunnel is prepared in detail for construction.

The modernisation of the track in Slovakia is getting into the state of checking in relation to the dependence on European Union funds. From Bratislava to Žilina, the track has been upgraded for the speed of 160km/h with the outlook for 200km/h, but from Žilina to the





Obr. 5 Bujanovský tunel – Margecanský portál  
Fig. 5 Bujanov tunnel – Margecany portal

#### Poprad Tatry – Krompachy

Na tomto úseku sa dnes už tiež nepožaduje dosiahnutie rýchlosti 160 km/h a tak z pôvodne piatich navrhovaných tunelov sa do ďalšieho stupňa spracovania dostali len tunely Španí Háj a Kalmanka.

#### Krompachy – Kysak

Úsek železničnej trate spájajúci Spiš so Šarišom bude po novom obsahovať len rekonštrukciu Bujanovského tunela (obr. 5). Všetky novonavrhované tunely sa vypúšťajú. Forma rekonštrukcie Bujanovského tunela sa na základe bezpečnostných požiadaviek na prevádzku momentálne rieši. Uvažuje sa s dvoma alternatívami. Rozšírenie existujúceho tunela za prevádzky, alebo vybudovanie nového jednokoľajného tunela a prerobenie existujúceho tunela na jednokoľajný.

#### Kysak – Košice

V tomto úseku sa nachádza novonavrhovaný tunel neďaleko košickej miestnej časti Ťahanovce. V súčasnosti je ťahanovský tunel v prevádzke, no nové vedenie trate a úprava smerového vedenia si vyžiadali posun tunela do novej polohy. Tento tunel je pripravený v podrobnosti pre realizáciu stavby.

Modernizácia trate na Slovensku sa vo vzťahu závislosti na fondoch Európskej únie dostáva do útlmu. Od Bratislavy po Žilinu sa trať zmodernizovala na rýchlosť 160 km/h, s výhľadom na 200 km/h, no od Žiliny na východ krajiny, kde sa nachádzajú hornaté oblasti a zvyšuje sa nárok na prípravu a financovanie modernizovanej trate, sa nároky na rýchlosť začali znižovať. Autori tohto článku sa nezhodujú s týmto trendom a veria, že sa tento vývoj ešte zmení a všetci na Slovensku tak budú môcť cestovať rýchlo.

Zo starších tunelov, ktoré sú v prevádzke, si viaceré vyžadujú rekonštrukciu. Železnice Slovenskej republiky tak v rámci svojich možností objednávajú spracovanie projektovej dokumentácie a aktuálne sa pripravuje projekt pre 439 metrov dlhý Ružbašský tunel na trati Plaveč – Poprad. Hlavným problémom je presakovanie vody cez ostenie a tvorba ľadových cencúľov v zimnom období, ktoré ohrozujú prevádzku trate.

for the 439m long Ružbachy tunnel on the Plaveč – Poprad rail track is currently under preparation. The main problem lies in seepage of water through the lining and creation of icicles in winter, jeopardising operation of the track.

Worth mentioning of the tunnels being designed is the third Bratislava tunnel, which is part of a study on the Bratislava railway junction and the function of which lies in increasing the capacity of the track from the main station in Bratislava in the direction of Prague.

Designs for tunnels in the Bratislava Predmestie – Bratislava Petržalka and the railway link to the M. R. Štefánik Airport in Bratislava, which have been completed into the detail of final design, have got into the position of fiction.

## ROAD AND MOTORWAY TUNNELS

### Tunnels in operation

Construction of tunnels on the Slovak road network in the past, in contrast with the intense construction of construction of railway tunnels, did not correspond to the mountainous character of a large part of Slovakia. The 793m long Bratislava tunnel under the Castle completed in 1949 and the 326m long Stratená tunnel on the road No. I/67 completed in 1971 were the only road tunnels built in the 20<sup>th</sup> century, but the former was converted into a tunnel for tram transport after reconstruction in 1983.

The beginning of the construction of motorway tunnels dates back to the middle of the 1990s and is associated with the programme of development of motorways, which, after many years, finally shifted from flat land to mountain areas of Eastern and Central Slovakia. In autumn 1996, the Branisko tunnel excavation started first and the Horelica tunnel excavation followed two years later. Both above-mentioned tunnels have been in operation since 2003 and 2004, respectively, with a single tube and bidirectional traffic. The construction of the Sitina and Bôrik double-tube tunnels followed after 2000. After premature termination of the PPP projects for development and operation of motorways in 2010, other motorway sections with tunnels were gradually developed in the “Design and Build” contractual regime according to the FIDIC Yellow Book. The Šibenik, Svrčinovec, Poľana and Považský Chlmec tunnels were gradually brought into service. The list of motorway tunnels in operation together with the main data is presented in Table 2. The total length of motorway tunnels in operation amounts to 12.2km; the total length of tunnel tubes with the double-tube tunnels included amounts to 17.5km.

### Tunnels under construction

Apart from 4 tunnels inaugurated in the 2015–2017 period, even other projects comprising tunnels were started in the past decade. Virtually all motorway tunnels under construction are parts of the motorway link of the Slovak capital, Bratislava, with the centre of Eastern Slovakia, Košice (see Fig. 6).

Two double-tube tunnels, the 2.37km long Ovčiarisko (see Fig. 7) and the 0.68km long Žilina, are parts of the Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka section of the D1 motorway south of the town of Žilina. Construction work and installation of tunnel

Tab. 2 Diaľničné tunely v prevádzke  
Table 2 Motorway tunnels in operation

diaľničný úsek motorway section	názov tunela tunnel name	dĺžka (m) length (m)	počet rúr number of tubes	v prevádzke od roku in operation from
D1 Mengusovce – Jánovce D1 Mengusovce – Jánovce	Bôrik Bôrik	985 985	2 2	2009 2009
D1 Jánovce – Jablonov D1 Jánovce – Jablonov	Šibenik Šibenik	588 588	2 2	2015 2015
D1 Behárovce – Branisko D1 Behárovce – Branisko	Branisko Branisko	4975 4975	1 1	2003 2003
D2 Lamačská cesta – Staré Grunty D2 Lamačská cesta – Staré Grunty	Sitina Sitina	1440 1440	2 2	2007 2007
D3 Žilina Strážov – Žilina Brodno D3 Žilina Strážov – Žilina Brodno	Považský Chlmec Považský Chlmec	2249 2249	2 2	2017 2017
D3 Čadca – obchvat mesta D3 Čadca – obchvat mesta	Horelica Horelica	605 605	1 1	2004 2004
D3 Svrčinovec – Skalité D3 Svrčinovec – Skalité	Svrčinovec Svrčinovec	445 445	1 1	2017 2017
D3 Svrčinovec – Skalité D3 Svrčinovec – Skalité	Poľana Poľana	890 890	1 1	2017 2017

Z projektovaných tunelov stojí ešte za zmienku tretí bratislavský tunel, ktorý je súčasťou štúdie uzla Bratislava a jeho funkcia je v skapcnení trate z hlavnej stanice v Bratislave v smere na Prahu.

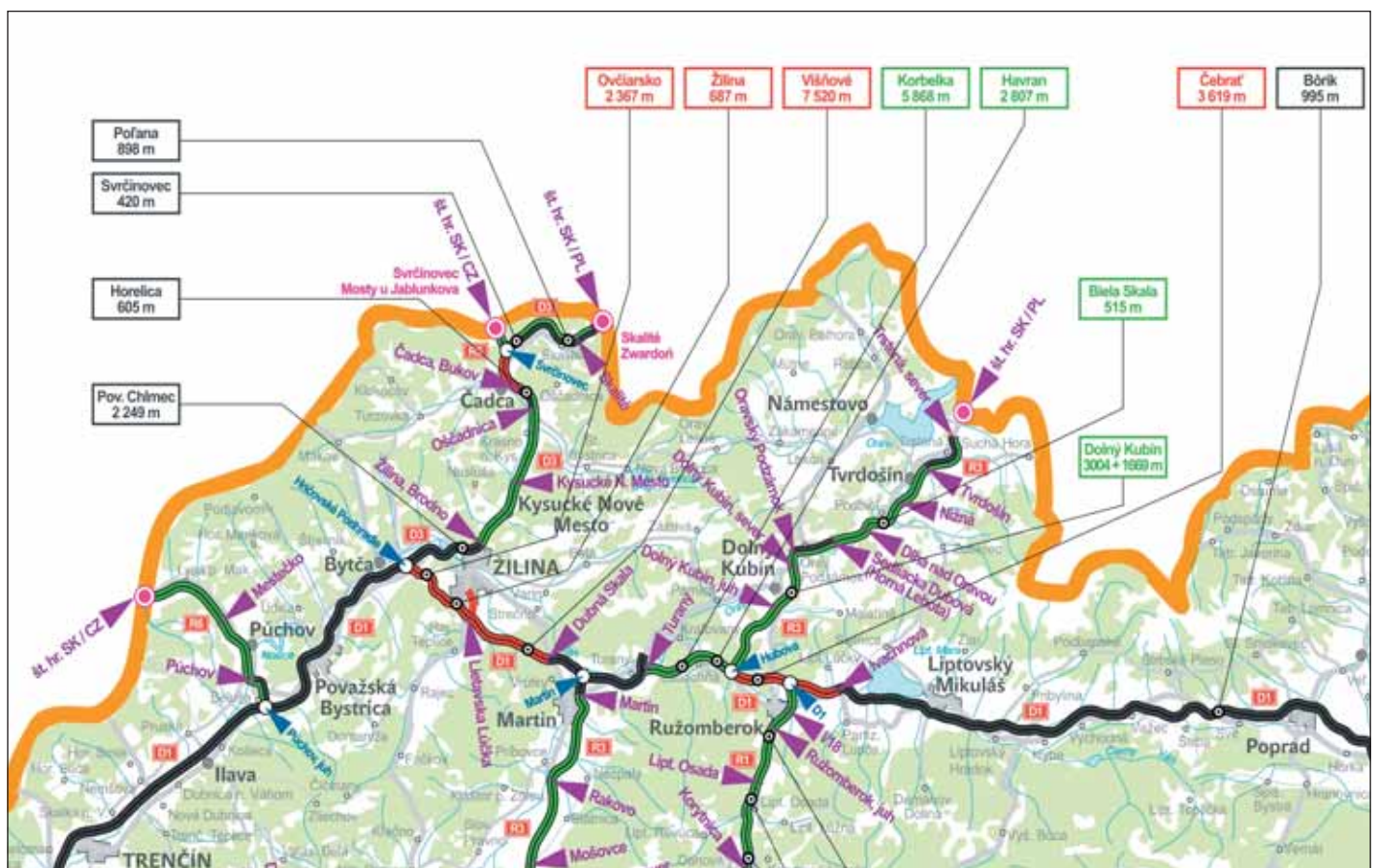
Do polohy fikcie sa dostali projekty tunelov na úsekoch Bratislava Predmestie – Bratislava Petržalka a Železničné zapojenie letiska M. R. Štefánika v Bratislave, ktoré boli spracované v podrobnosti dokumentácie pre stavebné povolenie.

been temporarily suspended and only the geological task project is being implemented.

Even the work on the 7.50km long Višňové tunnel, the longest tunnel in Slovakia, in the Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala section of the D1 motorway, has been suspended. Both tubes of the Višňové tunnel were broken through in August 2018, after 40 months of excavation. Concreting of the secondary lining has been finished on over 60% of the tunnel length. The complicated

equipment has already been finished in both tunnels. With respect to complications on the neighbouring sections of the D1 motorway and the motorway slip road to Žilina, bringing of the motorway section into service can be expected as late as 2021.

The development of the Hubová – Ivachnová section of the D1 motorway by-passing the town of Ružomberok is complicated. The Čebrať tunnel is part of this section. Serious problems with the area stability were diagnosed during the course of the construction work on the motorway section before the western portal of the Čebrať tunnel. They required extensive changes in the solution to the motorway alignment including lengthening of the tunnel from the original 2.0km to 3.68km. The changes in the solution required a new environmental impact assessment, a change in the zoning and planning decision and construction permit. For that reason the work on the tunnel has



Obr. 6 Výrez z mapy diaľnic s tunelmi v prevádzke (čiernou), výstavbe (červenou) a príprave (zelenou)

Fig. 6 Cut out from map of motorways containing tunnels in operation (black), under construction (red) and under preparation (green)



## CESTNÉ A DIAĽNIČNÉ TUNELY

### Tunely v prevádzke

Výstavba tunelov na slovenskej cestnej sieti v minulosti, na rozdiel od intenzívnej výstavby železničných tunelov, nezodpovedala hornatému charakteru veľkej časti územia Slovenska. Jedinými cestnými tunelmi vybudovanými v 20. storočí boli bratislavský tunel pod Hradom s dĺžkou 793 m dokončený v roku 1949 a tunel Stratená na ceste I/67 s dĺžkou 326 m dokončený v roku 1971. Prvý z nich bol po rekonštrukcii v roku 1983 zmenený na tunel pre električkovú dopravu.

Začiatok výstavby diaľničných tunelov spadá až do polovice deväťdesiatych rokov minulého storočia a je spätý s programom výstavby diaľnic, ktorá sa po mnohých rokoch konečne posunula z rovinatého územia do horských oblastí východného a stredného Slovenska. Na jeseň roku 1996 sa začal ako prvý raziť tunel Branisko a o dva roky neskôr tunel Horelica. Oba uvedené tunely sú od roku 2003, resp. 2004, v prevádzke s jednou rúrou a obojsmernou premávkou. Po roku 2000 nasledovala výstavba dvojrúrových tunelov Sitina a Bôrik. Po predčasnom ukončení PPP projektov na výstavbu a prevádzku diaľnic v roku 2010 boli postupne budované ďalšie úseky diaľnic s tunelmi v zmluvnom režime „*Naprojektuj a postav*“ podľa tzv. žltej knihy FIDIC. Postupne sa do prevádzky dostali tunely Šibenic, Svrčinovec, Poľana a Považský Chlmec. Zoznam diaľničných tunelov v prevádzke je spolu s hlavnými údajmi uvedený v tabuľke 2. Celková dĺžka diaľničných tunelov v prevádzke je 12,2 km, celková dĺžka tunelových rúr pri započítaní dvojrúrových tunelov je 17,5 km.

### Tunely vo výstavbe

Okrem 4 tunelov uvedených do prevádzky v období rokov 2015–2017 boli v predošlom desaťročí začaté aj viaceré ďalšie stavby s diaľničnými tunelmi. Prakticky všetky diaľničné tunely vo výstavbe

financial situation in which the contractor found itself and which negatively affected the progress of the work, resulted in 2019 in an agreement about the work termination between the client and the contractor. Continuation of the work can be expected only after successful coping with the public procurement process, the result of which will determine the new construction contractor. The anticipated deadline for the possible completion of the work was announced to be 2023 at the earliest. This assumption appears today as very optimistic.

Information from the construction of the 2.24km long Púchov tunnel (see Fig. 8), which is part of the Prešov West – Prešov South section of the D1 motorway, it means the southern by-pass of the regional capital Prešov in Eastern Slovakia, sounds more positively. The excavation of both tunnel tubes continued from August 2018 to June 2019; currently the secondary lining of the tunnel is being carried out. Completion and opening the section with the tunnel to traffic is expected in 2021.

The competition for the contractor for stage No. 1 of the Prešov northern by-pass was evaluated at the beginning of 2019. Subject of the competition was the express highway R4 in full profile, a part of which is the 1.15km long Bikoš double-tube tunnel. The construction work should begin in spring 2020 and should be finished in spring 2023.

### Tunnels under design preparation

In the meaning of the presented plans for development of motorways and express highways, construction of several sections comprising tunnels should start in the following years. The main ambition of the government remains the completion of the Bratislava – Košice D1 motorway. The conventional tunnelling method (NATM) is assumed for the majority of the motorway tunnels under preparation; a continual method using a



Obr. 7 Tunel Ovčiarско, východný portál  
Fig. 7 Ovčiarско tunnel, eastern portal

archív Doprastav, a.s. Doprastav, a.s. archive



Obr. 8 Tunel Prešov, razenie kaloty

Fig. 8 Prešov tunnel, top heading excavation

sú súčasťou diaľničného prepojenia hlavného mesta Slovenska Bratislava a centra východného Slovenska Košíc (obr. 6).

Súčasťou úseku diaľnice D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka južne od mesta Žilina sú dva dvojrúrové tunely, Ovčiarsko s dĺžkou 2,37 km (obr. 7) a Žilina s dĺžkou 0,68 km. V oboch tuneloch sú už ukončené stavebné práce ako aj inštalácia technologického vybavenia. Uvedenie diaľničného úseku do prevádzky sa vzhľadom na komplikácie na súvisiacich úsekoch diaľnice D1 a diaľničného privádzača do Žiliny dajú očakávať až v roku 2021.

Komplikovane sa vyvíja výstavba úseku diaľnice D1 Hubová – Ivachnová obchádzajúceho mesto Ružomberok, ktorej súčasťou bude tunel Čebrať. Počas stavebných prác boli diagnostikované vážne problémy so stabilitou územia v úseku diaľnice pred západným portálom tunela Čebrať, ktoré si vyžiadali rozsiahle zmeny v riešení trasy diaľnice vrátane predĺženia tunela z pôvodných 2,0 km na 3,68 km. Zmeny riešenia si vyžiadali nové posúdenie vplyvov na životné prostredie, zmenu územného aj stavebného povolenia. Z tohto dôvodu sú práce na tuneli dočasne pozastavené a realizuje sa len projekt geologickej úlohy.

Zastavené sú aj práce na najdlhšom slovenskom tuneli Višňové s dĺžkou 7,50 km, na úseku diaľnice D1 Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala. Obe rúry tunela Višňové boli prerazené v auguste 2018, po 40 mesiacoch razenia. Betonáž sekundárneho ostenia je hotová na viac ako 60 % dĺžky tunela. Komplikovaná finančná situácia, v ktorej sa ocitol zhotoviteľ a ktorá negatívne ovplyvňovala postup prác, rezultovala v marci 2019 dohodou o ukončení prác medzi objednávateľom a zhotoviteľom. Pokračovanie prác sa dá očakávať až po úspešnom zvládnutí procesu verejného obstarávania, ktorého výsledkom bude nový zhotoviteľ. Odhadovaný termín možného ukončenia prác bol ohlásený najskôr v roku 2023, čo sa už dnes javí ako veľmi optimistický predpoklad.

Positívnejšie znejú informácie z výstavby tunela Prešov dĺžky 2,24 km (obr. 8), ktorý je súčasťou diaľnice D1 Prešov západ – Prešov juh, čiže južného obchvatu krajského mesta Prešov na východnom Slovensku. Razenie oboch tunelových rúr prebiehalo od augusta 2018 do júna 2019, v súčasnosti sa realizuje sekundárne ostenie tunela. Ukončenie a otvorenie úseku diaľnice s tunelom sa očakáva v roku 2021.

Začiatkom roku 2019 bola vyhodnotená aj súťaž na zhotoviteľa 1. etapy severného obchvatu Prešova. Ide o rýchlostnú cestu R4 v úplnom profile, ktorej súčasťou je dvojrúrový tunel Bikoš dĺžky

full-face tunnel boring machine comes into consideration for the yet planned longest motorway tunnel, the Karpaty. The majority of tunnels are assumed to be in the double-tube arrangement with unidirectional traffic. Making decisions on possible construction of a single-tube tunnel with bidirectional traffic has to be based on an analysis including comprehensive assessment of all technical, economic, operational and safety-related aspects.

#### *D1 Turany – Hubová*

The Turany – Hubová section remains to be the most problematic section of the D1 motorway. After the massive landslide in the quarry near Šutov Lakes, more options for designing the motorway alignment were examined in the environmental impact assessment (EIA) process. The valley variant containing the Rojkov tunnel definitively

remained in the EIA final opinion and the alignment with the 5.87km long Korbelka tunnel and the 2.80km long Havran tunnel became the preferred option. At the moment, documentation for the zoning and planning decision has been finished. It reflects several tens of conditions stipulated in the process of environmental impact assessment (EIA) by which the further preparation is bound. Activities of disgruntled participants in the EIA process are still ongoing. They still hinder fluent preparation, mainly from the aspect of providing required opinions and permissions. For the above-mentioned reasons, it is very difficult to assume the construction deadlines, which are certainly in a horizon of several years.

#### *D4 Ivanka pri Dunaji – Bratislava, Záhorská Bystrica*

The longest Slovak motorway tunnel under preparation is the Karpaty tunnel on the zero circle around the Slovak capital, Bratislava, in the Bratislava, Rača – Záhorská Bystrica section of the D4 motorway. According to the technical study conducted for the construction of the 10.99km long tunnel, the use of a continual excavation method is under consideration. The EIA process is currently in progress – a report on the environmental impact assessment is under preparation and public debates took place in the affected municipalities at the beginning of 2020. The final opinion in the EIA process should be issued in the second half of 2020.

#### *Second tunnel tubes of operating motorway tunnels*

The design preparation is under way even for single-tube tunnels in operation (Branisko and Horelica). These tunnels require reassessment of the need for reconstruction after 15, respectively 16 years in operation, also with respect to the increased volume of traffic on motorway sections the parts of which they are. Specific demands on the solution are brought by the need for maintaining possibilities of escaping of people from the operating tunnel tube while the other tube is concurrently under construction. The Horelica tunnel on the Oščadnica – Čadca, Bukov section of the D3 motorway (see Fig. 9), where documentation for construction permit is currently under preparation, has been assessed for the time being as more urgent.

#### *Tunnels on express highway network*

Apart from the development of the motorway network (Table 3), even the intense preparation of the development of the network



1,15 km. Výstavba by mala začať na jar 2020 a mala by byť ukončená na jar 2023.

### Tunely v projektovej príprave

V zmysle prezentovaných plánov na výstavbu diaľnic a rýchlostných ciest by v nasledujúcich rokoch mala začať realizácia viacerých úsekov s tunelmi. Hlavnou ambíciou vlády naďalej zostáva dokončiť diaľnicu D1 Bratislava – Košice. Pre väčšinu pripravovaných diaľničných tunelov je predpokladaná konvenčná metóda výstavby (NRTM), pre zatiaľ plánovaný najdlhší diaľničný tunel Karpaty prichádza do úvahy kontinuálna metóda za použitia plno-profilového raziaceho stroja. Prevažná väčšina tunelov je uvažovaná v dvojrúrovom usporiadaní s jednosmernou premávkou. Rozhodovanie o prípadnej výstavbe tunela s jednou rúrou a obojsmernou premávkou musí byť založené na analýze zahrňujúcej komplexné hodnotenie všetkých technických, ekonomických, prevádzkových a bezpečnostných aspektov.

#### D1 Turany – Hubová

Najproblematickejším úsekom diaľnice D1 stále zostáva úsek Turany – Hubová. Po masívnom zosuve v lome pri Šúťovskom jazere boli opätovne v procese posúdenia vplyvov na životné prostredie (EIA) skúmané viaceré možnosti vedenia trasy. V záverečnom stanovisku v procese EIA je definitívne zanechaný údolný variant s tunelom Rojkov a preferovanou sa stala trasa s tunelmi Korbelka dĺžky 5,87 km a Havran dĺžky 2,80 km. V súčasnosti je spracovaná dokumentácia na územné rozhodnutie, ktorá reflektuje niekoľko desiatok závažných podmienok stanovených v procese hodnotenia vplyvov na životné prostredie (EIA), ktorými je zaviazaná ďalšia príprava. Stále prebiehajú aj aktivity nespokojných účastníkov z procesu EIA, ktoré bránia v plynulej príprave najmä z pohľadu zabezpečovania potrebných vyjadrení a povolení. Z uvedených dôvodov je veľmi náročné predpokladať termíny realizácie, určite je to však horizont niekoľkých rokov.

#### D4 Ivanka pri Dunaji – Bratislava, Záhorská Bystrica

Najdlhším pripravovaným slovenským diaľničným tunelom je tunel Karpaty na nultom okruhu okolo hlavného mesta Bratislavy, v úseku diaľnice D4 Bratislava, Rača – Záhorská Bystrica. Podľa spracovanej technickej štúdie sa pre výstavbu tunela dĺžky 10,99 km uvažuje s využitím kontinuálnej metódy razenia. V súčasnosti prebieha proces EIA – je spracovávaná správa o posúdení vplyvov na životné prostredie a na začiatku roku 2020 sa uskutočnili verejné prerokovania v jednotlivých dotknutých obciach. Záverečné stanovisko v procese EIA by malo byť vydané v druhej polovici roka 2020.

Tab. 3 Prípravované tunely na diaľniciach  
Table 3 Tunnels under preparation on motorways

diaľničný úsek motorway section	názov tunela tunnel name	dĺžka (m) length (m)	súčasný stav current state
D1 Turany – Hubová D1 Turany – Hubová	Korbelka Korbelka	5868 5868	záverečné stanovisko MŽP final opinion of the Ministry of Environment
	Havran Havran	2807 2807	záverečné stanovisko MŽP final opinion of the Ministry of Environment
D1 Beharovce – Branisko D1 Beharovce – Branisko	Branisko, 2. rúra Branisko, 2 <sup>nd</sup> tube	4975 4975	územné rozhodnutie zoning and planning decision
D1 Bidovce – Dargov D1 Bidovce – Dargov	Dargov Dargov	1050 1050	proces EIA EIA process
D3 Oščadnica – Čadca, Bukov D3 Oščadnica – Čadca, Bukov	Horelica, 2. rúra Horelica, 2 <sup>nd</sup> tube	605 605	územné rozhodnutie zoning and planning decision
D4 Ivanka pri Dunaji – Bratislava, Záhorská Bystrica D4 Ivanka pri Dunaji – Bratislava, Záhorská Bystrica	Karpaty Karpaty	8068 8068	proces EIA EIA process

Tab. 4 Prípravované tunely na rýchlostných cestách  
Table 4 Tunnel under preparation for express highways

úsek rýchlostnej cesty express highway section	názov tunela tunnel name	dĺžka (m) length (m)	súčasný stav current state
R1 Slovenská Lupča – Korytnica R1 Slovenská Lupča – Korytnica	Hradište Hradište	8385 8385	príprava DÚR building location permit preparation
R1 Korytnica – Liptovská Osada R1 Korytnica – Liptovská Osada	Korytnica Korytnica	927 927	proces EIA EIA process
	Osada Osada	142+814 142+814	proces EIA EIA process
R1 Liptovská Osada – Ružomberok, juh R1 Liptovská Osada – Ružomberok, south	Biely Potok Biely Potok	1395 1395	proces EIA EIA process
R2 Pravotice – Dolné Vestenice R2 Pravotice – Dolné Vestenice	Chotômka Chotômka	595 595	štúdia realizovateľnosti feasibility study
R2 Nováky – Žiar n. Hronom R2 Nováky – Žiar n. Hronom	Prieložy Prieložy	2880 2880	technická štúdia technical study
	Šajba Šajba	650 650	technická štúdia technical study
R2 Tornaľa – Gombasek R2 Tornaľa – Gombasek	Plešivec Plešivec	2572 2572	záverečné stanovisko MŽP final opinion of the Ministry of Environment
R2 Rožňava – Jablonov nad Turňou R2 Rožňava – Jablonov nad Turňou	Soroška Soroška	4282 4282	územné rozhodnutie zoning and planning decision
R3 Nižná – Dlhá nad Oravou R3 Nižná – Dlhá nad Oravou	Biela Skala Biela Skala	515 515	územné rozhodnutie zoning and planning decision
R3 Oravský Podzámok – Dolný Kubín, juh R3 Oravský Podzámok – Dolný Kubín, south	Dolný Kubín Dolný Kubín	3004+1669 3004+1669	technická štúdia technical study
R3 Horná Štubňa – Ráztočno R3 Horná Štubňa – Ráztočno	Remata Remata	3000 3000	technická štúdia technical study
R3 Zvolen – Šahy R3 Zvolen – Šahy	Baba Baba	4020 4020	proces EIA EIA process
	Hanišberg Hanišberg	2800 2800	proces EIA EIA process
R4 Prešov – severný obchvat, II. etapa R4 Prešov – northern by-pass, stage II	Okruhliak Okruhliak	1917 1917	stavebné povolenie construction permit

## Druhé tunelové rúry prevádzkovaných diaľničných tunelov

Projektová príprava prebieha aj pre tunely s jednou tunelovou rúrou v prevádzke (Branisko a Horelica). Ide o tunely, kde po 15, resp. 16, rokoch prevádzky je potrebné prehodnotenie potrieb ich rekonštrukcie spolu so zvyšujúcimi sa dopravnými zaťažovacími úsekmi diaľnic, ktorých sú súčasťou. Špecifickú náročnosť na riešenie prináša potreba zachovania možnosti úniku osôb z prevádzkovej tunelovej rúry za súčasnej výstavby druhej rúry. Ako urgentnejší bol zatiaľ vyhodnotený tunel Horelica na diaľnici D3 v úseku Oščadnica – Čadca, Bukov (obr. 9), kde sa v súčasnosti pripravuje dokumentácia na stavebné povolenie.

### Tunely na sieti rýchlostných ciest

Okrem výstavby diaľničnej siete (tab. 3) prebieha na Slovensku aj intenzívna príprava výstavby rýchlostných ciest. Aj na tejto sieti je uvažované s výstavbou značného počtu tunelov (tab. 4), najmä na rýchlostných cestách R1, R2 a R3.

Najbližším tunelom vo výstavbe v sieti rýchlostných ciest by mohol byť tunel Soroška na rýchlostnej ceste R2. Národná diaľničná spoločnosť začiatkom roku 2020 vyhlásila súťaž na jeho výstavbu, hoci zatiaľ nedisponuje stavebným povolením. Ide o jednorúrovňový tunel dĺžky 4,25 km s paralelnou únikovou štôľňou, ktorý bude vybavený priečnym vetraním s vetracou šachtou. Počas projektovej prípravy tunela prebiehala podrobná analýza ako podklad pre rozhodnutie o výstavbe jednej alebo dvoch tunelových rúr. Finálne rozhodnutie bolo podmienené najmä prioritou danou krátkodobou úspore finančných prostriedkov, pričom súviselo aj s relatívne nízkymi prognózovanými intenzitami dopravy.

## ZÁVER

Čitatelia časopisu sa už určite stretli s výrokmi, že predpovedať je ťažké, najmä pokiaľ ide o budúcnosť. V čase, v ktorom je tento príspevok dokončovaný, v marci roku 2020, sú možnosti prognózovania oslabené šíriacou sa celosvetovou epidémiou, ktorá bude mať rozsiahle dopady na hospodársky vývoj nielen dotknutých krajín, ale aj celosvetovej ekonomiky. Až o niekoľko rokov, pri opätovnom hodnotení vývoja výstavby tunelov a dopravnej infraštruktúry, bude možné vidieť, do akej miery sa naplnili predpoklady formulované v tomto príspevku.

*Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ,*

*frankovsky@dopravoprojekt.sk., DOPRAVOPROJEKT, a.s.,*

*Ing. JÁN KUŠNÍR,*

*kusnir@reming.sk, REMING CONSULT a.s.*

*Recenzovala Reviewed: Ing. Viktória Chomová*



*Obr. 9 Tunel Horelica, severný portál*

*Fig. 9 Horelica tunnel, northern portal*

of express highways is in progress. Construction of a significant number of tunnels on this network is also under consideration (see Fig. 4), mainly on the R1, R2 and R3 express highways.

The Soroška tunnel on the R2 express highway could be the nearest tunnel under construction on the network of express highways. Národná Diaľničná Spoločnosť (National Motorway Society) put out the tender for the construction contract at the beginning of 2020, even though it does not have the construction permit at its disposal yet. The Soroška is a 4.25km long single-tube tunnel with a parallel escape gallery, which will be equipped with a transverse ventilation system with a ventilation shaft. The work on a detailed analysis as the grounds for the decision on the construction of one or two tunnel tubes was ongoing during the design preparation phase. The final decision was conditioned mainly by the priority given to short-term financial savings. In addition, it was related to the prognosis of relatively low traffic volume.

## CONCLUSION

The journal readers have already certainly met the statement that forecasting is difficult, especially when it comes to future. At the time at which this paper is being finished, March 2020, the possibilities of forecasting are weakened by the worldwide spreading epidemic, which will have extensive impacts on the economic development not only of the affected countries, but also the global economy. We will see to what extent the forecasts formulated in our paper have been fulfilled only in a few years when we return to assessing the development and presuming other perspectives.

*Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ,*

*frankovsky@dopravoprojekt.sk., DOPRAVOPROJEKT, a.s.,*

*Ing. JÁN KUŠNÍR,*

*kusnir@reming.sk, REMING CONSULT a.s.*

## LITERATÚRA / REFERENCES

- [1] FRANKOVSKÝ, M., KUŠNÍR, J. Perspektívy výstavby dopravných tunelov na území Slovenska. *Tunel*, 2013, č. 1
- [2] Projektová dokumentácia spracovávaná spoločnosťou REMING CONSULT, a.s.
- [3] Webové stránky Rail.sk, <https://www.rail.sk/skhist/tunely.htm>
- [4] Webové stránky Národnej diaľničnej spoločnosti, <https://www.ndsas.sk>
- [5] Webové stránky Ministerstva životného prostredia SR, [www.enviroportal.sk](http://www.enviroportal.sk)



# PODOBNOST MEZI MODELEM A REÁLNOU KONSTRUKCÍ ZATÍŽENOU RÁZOVOU VLNOU

## SIMILARITY BETWEEN MODEL AND REAL STRUCTURE IMPACTED BY SHOCKWAVES

PETR P. PROCHÁZKA, DAGMAR JANDEKOVÁ

### ABSTRAKT

Vzhledem k důležitosti analýzy účinků výbuchů na liniové stavby, jako jsou tunely, je vliv podzvukové a nadzvukové dynamiky důležitým faktorem při navrhování a posuzování těchto konstrukcí. V tomto ohledu je dobré získat informace z experimentů prováděných na vybraných typických objektech. Je však prakticky nemožné provádět přesvědčivé experimenty na reálných strukturách, protože takový postup by byl prakticky nemožný nebo by byl neúměrně drahý. Proto je nutné studovat postupy, které mohou spolehlivě převést výsledky experimentů v měřítku do reálných situací. Takový postup je uveden v tomto článku spolu s několika příklady pro tunelové konstrukce. Předložený článek využívá některé experimentální výsledky publikované v časopise *Tunel* 2019, 28(4), str. 46–50, autorů Procházka, P. P., Janeková, D., Válek, M. J.: Studie šíření rázové vlny v tunelu.

### ABSTRACT

Given the importance of analyzing the effects of explosions on line structures, such as tunnels, the effect of subsonic and supersonic dynamics is an important factor in the design and assessment of such structures. In this respect, it is good to obtain information from experiments carried out on selected typical objects. However, it is practically impossible to conduct compelling experiments on real structures, because such a procedure would be practically not feasible or would be disproportionately expensive. Therefore, it is necessary to study procedures that can reliably convert results from scale model experiments into real situation. Such a procedure is presented in this paper along with some examples of tunnel structures. The present article uses some experimental results from a previous publication in the journal *Tunel* 2019, 28(4): 46–50, Procházka, P. P., Janeková, D., Válek, M. J.: Study of shock wave propagation in tunnel.

### ÚVOD

Vzhledem k rostoucímu výskytu náhlých změn zatížení pozemních a podzemních staveb výbuchem je jejich dopad kritickým problémem v procesu navrhování.

K lepšímu pochopení účinků výbuchů na konstrukce je zapotřebí řada vhodných experimentů. In situ experimenty publikované v [1], [2] by měly sloužit k upřesnění numerických postupů, včetně identifikace nezbytných parametrů při modelování skutečného chování interakce rázová vlna–konstrukce. Toto jsou výjimečné případy testování v reálném čase a geometrii. Velkou komplikací je, že tyto experimenty jsou zřídka proveditelné, a pokud jsou, pak jsou velmi drahé, časově náročné a vyžadují relativně složitá zařízení pro zaznamenávání výsledků těchto testů. Je proto výhodné využít pravidla podobnosti, která lze aplikovat buď na materiálech se skutečnými časově závislými vlastnostmi [3], [4], [5], nebo na modely z fyzikálně ekvivalentních materiálů, [6] a [7]. V posledním uvedeném odkazu se experiment provádí na 100 g odstředivce.



Obr. 1 Pohled na uspořádání zkušební trouby  
Fig. 1 A view of the assembly of the rings

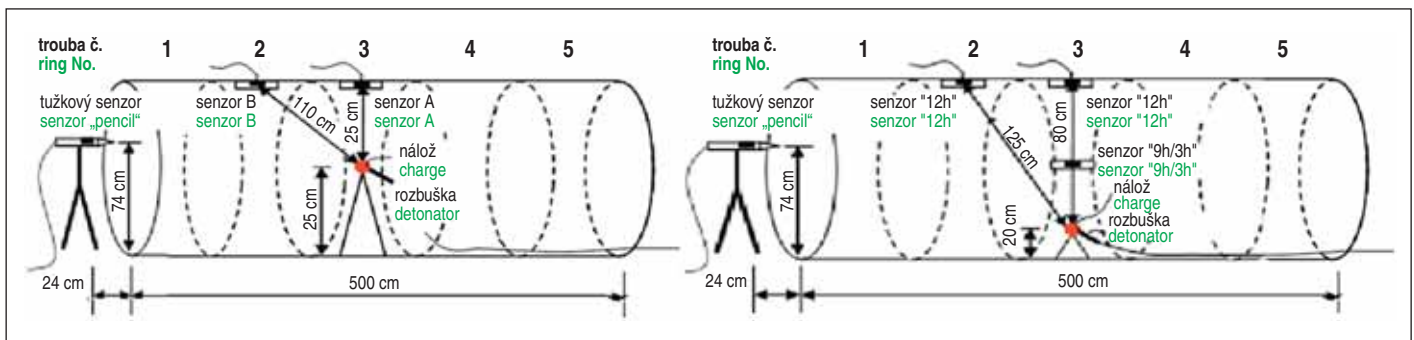
### INTRODUCTION

Because of the increasing occurrence of sudden changes in load of civil and underground structures due to the explosion, their impact is a critical problem in the design process. A number of suitable experiments are needed to better understand the effects of explosions on structures. The in situ experiments published in [1], [2] should serve to refine the numerical procedures, including the identification of the necessary parameters in modeling the real behavior of the shock wave-solid structure interaction. These are exceptional cases of real-life and real-geometry testing. The great complication is that these experiments are rarely feasible, and if they are, then are very expensive, time consuming and require relatively complex devices to record the results of these tests. It is therefore appropriate to apply similarity rules that can be used either to materials corresponding to actual materials used in real structure, [3], [4], [5] or to models of physically equivalent materials, [6] and [7]. In the latter reference, the experiment is performed on a 100g centrifuge.

From these experiments, it is possible to obtain data for considerably cheaper computer procedures for assessing the bearing capacity of a structure.

### EXPERIMENTS

For experimental studies, a system of five interconnected rings of conventional concrete simulating tunnel was created, with each adjacent pair of rings joined to a half groove and reinforced with a cement screed. C 25/30 concrete class was selected for the test specimens. A view of a tube, consisting of said five rings lying on a sandy ground, the vertical position of them has been stabilized by longitudinal wooden beams, is shown in Fig. 1. Drawings of the sensor and charge positions are shown in Fig. 2.



Obr. 2 Uspořádání experimentu pro nálož uprostřed a mimo osu tunelu  
Fig. 2 Arrangement of experiment for in- or off-axis charge

Z těchto experimentů je možné získat data pro výrazně levnější počítačové postupy pro hodnocení únosnosti konstrukce.

## EXPERIMENTY

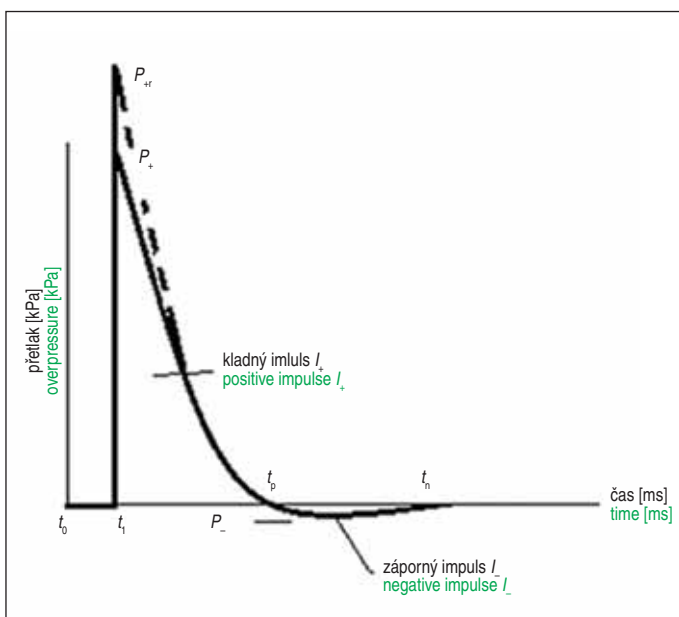
Pro experimentální studie byl vytvořen systém pěti propojených dílčích trub z konvenčního betonu simulujících tunel, přičemž každý sousední pár trub byl spojen na poloviční drážku a vyztužen cementovým potěrem. Pro zkušební vzorky byla vybrána třída betonu C 25/30. Pohled na celou propojenou troubu ležící na písčitém podloží, jejíž vertikální poloha byla stabilizována podélnými dřevěnými trámy, je znázorněn na obr. 1. Výkresy pozic senzorů a náloží jsou znázorněny na obr. 2.

Je dobré poznamenat, že tužkový senzor sloužil pouze k zajištění spolehlivosti výsledků a spektra na něm zjištěná nejsou dále zvažována. Velikost přetlaků odečtených na tomto senzoru je také zanedbatelná vzhledem k jiným měřeným bodům.

Všechny odpaly byly provedeny pomocí trhaviny Semtex 1A. Některé výsledky publikované v [5] jsou zohledněny i v tomto článku.

### Nálož na vodorovné ose tunelu

Nejjednodušší popis chování rázové vlny, který lze použít pro konstrukci zákonů podobnosti, je Friedlanderův graf (obr. 3), který popisuje časový vývoj rázových vln dopadajících na bariéru ve volném prostoru. Přestože je popis rázových vln v jiných geometrických strukturách komplikovanější, je často možné použít Friedlanderův graf a vhodně jej zobecnit.



Obr. 3 Friedlanderův tvar rázové vlny  
Fig. 3 Friedlander's waveform

It is worth noting that the pencil sensor was only used to ensure the reliability of the results and the spectra found on it are not considered further. The values of overpressures read on this sensor are also negligible with respect to other measured points.

All blasts were performed using explosive Semtex 1A. Certain results published in [5] are also reflected in this paper.

### Position of the charge in horizontal axis

The simplest description of the shock wave behavior that can be used for the construction of similarity laws is the Friedlander graph, see Fig. 3, which describes the time evolution of the shock waves impinging the barrier in free space. Although the description of shock waves in other geometric structures is more complicated, it is often possible to start from Friedlander's waveform and appropriately generalize it.

In this case, the distribution of pressure  $p$  over time obeys the Friedlander equation

$$p = P_+ \exp(-bt/t_p) (1 - t/t_p), \quad (1)$$

where  $t$  is time,  $P_+$  is the maximum value of the incident pressure,  $b$  is the decay coefficient and  $t_p$  is the time of transition from pressure to tensile phase. The distribution of reflective pressure is described by the same equation as (1), where  $P_+$  is substituted by  $P_{+r}$ . The values of the decay coefficient are in detail discussed in [9].

In the case of an axially positioned charge, good information can be obtained about the course of the load characterized by the top and bottom envelope of the spectrum. The upper expresses the pressure part and the lower suction (vacuum) course. The envelopes, Fig. 4, are drawn for the first and second blasts.

It is worth noting that the decisive for structural damage and consequently for the bearing capacity of the structure is the pressure measured at Sensor A, while the pressure at sensor B is not that important because of lower overpressure values.

### Off-axis position of the charge

First, the goal is focus on the results of the overpressure caused by placing the charge in the middle ring, namely 20cm above the thill. The results obtained on the sensors located above the charge on calotte (sensor A) and in the second ring in the ceiling (sensor B) will be observed. For further evaluation of the validity of the similarity rules, the charge masses of 10 (detailed time distribution since this blast is found in [5]), 15, 20 and 25g are used. Fig. 5 shows the resulting spectra at Sensor A and in Fig. 6, the overpressure spectra recorded at B are depicted, in both cases corresponding to two successive blasts.

Relatively interesting, albeit expected, is the fact that in sensor B the measured second peak (second shock wave front) is significantly higher than the first, as shown in Fig. 6. This difference increases



V tomto případě se rozdělení tlaku  $p$  v čase se řídí Friedlanderovou rovnicí

$$p = P_+ \exp(-bt/t_p) (1 - t/t_p), \quad (1)$$

kde  $t$  je čas,  $P_+$  je maximální hodnota tlaku nárazové vlny,  $b$  je koeficient útlumu a  $t_p$  je čas přechodu z tlakové vlny do tahové (vakua).

Rozdělení odrazového tlaku je popsáno stejnou rovnicí jako (1), kde  $P_+$  je nahrazeno  $P_{++}$ . Hodnoty koeficientu útlumu jsou podrobně diskutovány v [9].

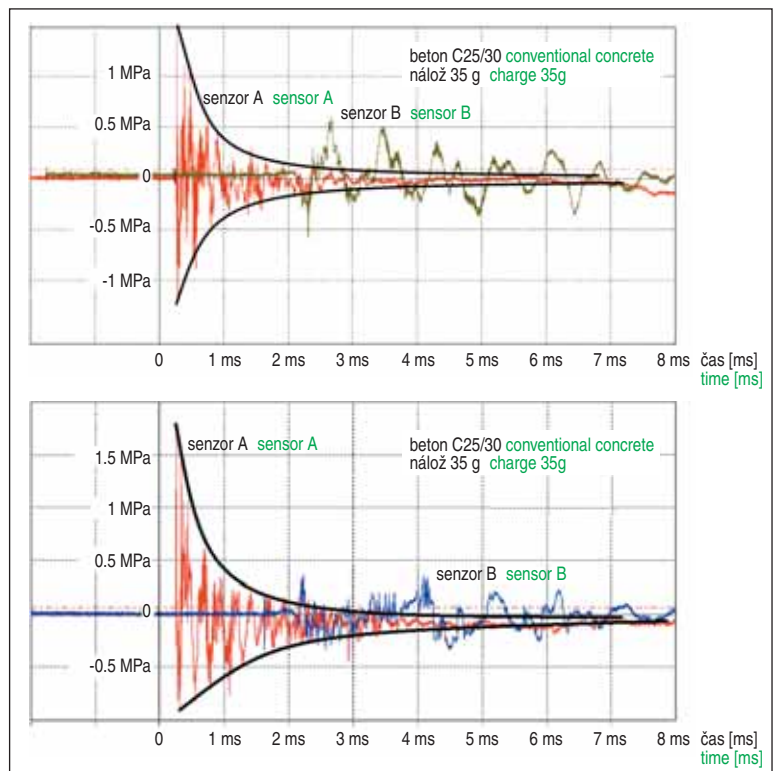
Z axiálně umístěné nálože lze získat dobré informace o průběhu zatížení charakterizovaném horní a dolní obálkou spektra. Horní část vyjadřuje tlakovou část a dolní sací (vakuový) průběh. Obálky (obr. 4) jsou nakresleny pro první a druhý odpal.

Za zmínku stojí, že rozhodující pro poškození konstrukce je tlak měřený na senzoru A, kdežto přetlak měřený na senzoru B není tak důležitý vzhledem k nižším hodnotám přetlaku.

### Pozice nálože mimo osu

Nejprve je cílem získat výsledky přetlaku způsobeného umístěním nálože do prostředního prstence, a to 20 cm nad počvou. Budou sledovány výsledky získané na senzorech umístěných nad náloží na kalotě (senzor A) a ve druhém prstenci ve stropě (senzor B). Pro další vyhodnocení platnosti pravidel podobnosti jsou zvoleny hmotnosti náloží 10, 15, 20 a 25 g (detail časového vývoje [5]). Obr. 5 ukazuje výsledná spektra na senzoru A a na obr. 6 jsou zobrazena přetlaková spektra zaznamenaná na senzoru B, v obou případech odpovídající dvěma následným výbuchům.

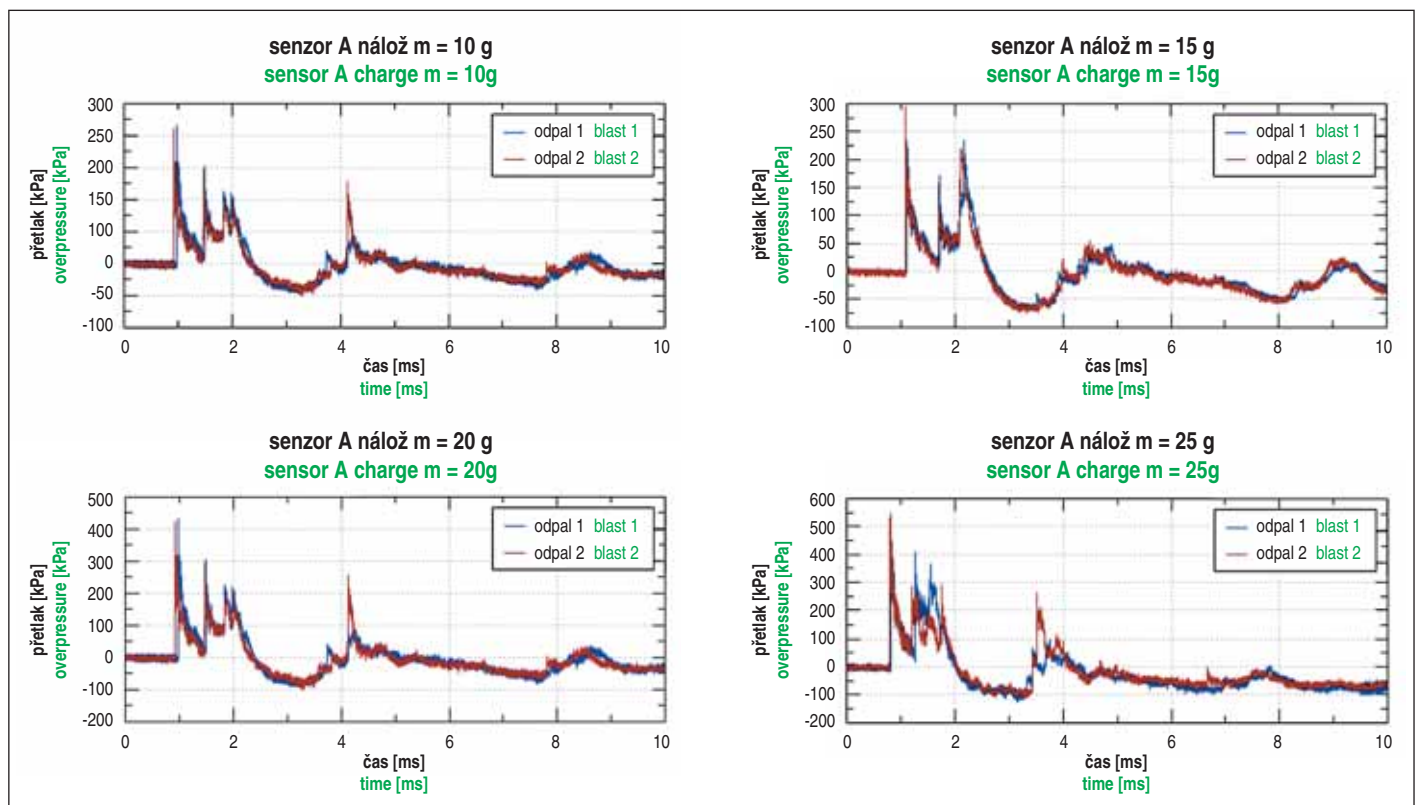
Relativně zajímavá, byť očekávaná, je skutečnost, že v senzoru B je druhý vrchol (druhé čelo vlny) výrazně vyšší než první, jak je znázorněno na obr. 6. Tento rozdíl se zvyšuje s velikostí nálože.



Obr. 4 Tlaková spektra a jejich obálky pro první a druhý odpal  
Fig. 4 Overpressure spectra and their envelopes, first and second blast

with the charge size. With respect to the angle of incidence of the shock wave, it will probably be a combination of reflected and Mach waves.

In the second stage of the experiment with the charge positioned 20cm above the bottom of the tunnel additional sensors have been placed on the side walls (denoted as “3h” and “9h”, which should



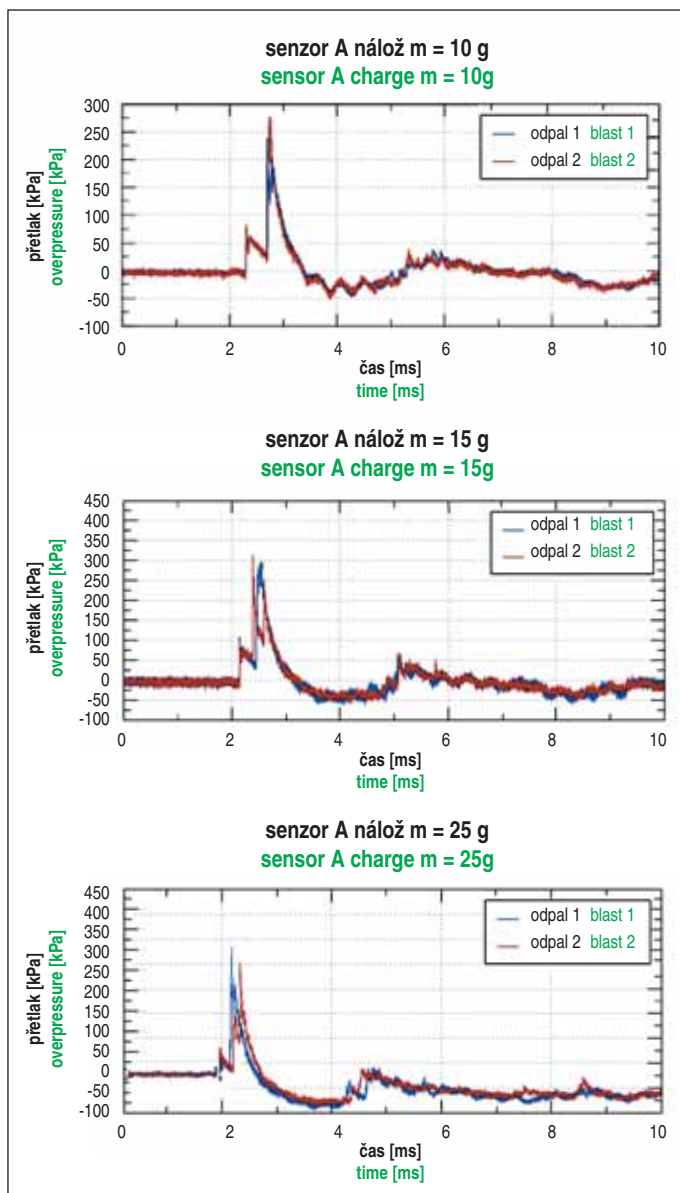
Obr. 5 Výsledky přetlakových spekter pro umístění senzoru A nad náloží  
Fig. 5 Results of overpressure spectra for sensor A placed above the charge

Vzhledem k úhlu dopadu rázové vlny to bude pravděpodobně kombinace odražených a Machových vln.

Ve druhé fázi experimentu s náloží umístěnou 20 cm nad dnem tunelu byly na boční stěny umístěny další senzory (označeny jako „3h“ a „9h“, které zdůrazňují pozici na pravé, resp. levé stěně). Pohled do tunelu spolu se senzory je na obr. 7.

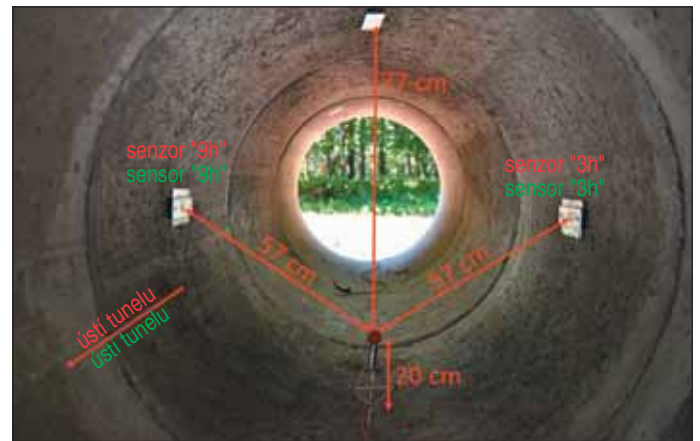
V tomto případě bylo provedeno celkem šest experimentů, ve kterých byl signál zachycen všemi pěti tlakovými senzory. Hmotnost náloží byla 15 g, 25 g a 35 g. Všimněte si náhodného výskytu šumu, jak je znázorněno na obr. 8. Takový signál se objevil přibližně za 2,25 a 3,15 ms pro 15 g nálož na senzoru „3h“. Tyto vrcholy nejsou fyzikální povahy a mohou být způsobeny například uvolněným konektorem na tlakovém senzoru. Avšak ze všech experimentů v této sérii byl takto monitorován pouze jeden senzor, a proto se výbuch neopakoval. Na obr. 9 jsou znázorněna spektra získaná pro hmotnost náloží 25 g. Dále je pro nálož 35 g zobrazeno spektrum z jednoho z předchozích experimentů [5] (obr. 10).

Pro porovnání chování časových průběhů přetlaků jsou na obr. 11 vykreslena spektra hodnot naměřených na všech použitých senzorech.



Obr. 6 Výsledky přetlakových spekter pro umístění senzoru B ve vrcholu klenby druhé části spojené trouby

Fig. 6 Overpressure spectra results for sensor B being placed on the calotte in the second ring



Obr. 7 Pohled do tunelu spolu s pozicemi nálože a senzorů

Fig. 7 View into the tunnel together with the charge and sensors positions

point out on right and left wall, respectively). A view into the tunnel together with the sensors is found in Fig. 7.

A total of six experiments were performed in this case the signal in which was captured by all five pressure sensors. The charge masses were 15g, 25g, and 35g. Note the random occurrence of noise, as shown in Fig. 8. Such a signal appeared at about 2.25 and 3.15ms for a 15g shot at the sensor “3h”. These peaks are not physical in nature and may be caused by a loose connector on the pressure sensor. However, of all the experiments in this series, there was only one sensor monitored with this disturbance and the blast was therefore not repeated. In Fig. 9, spectra obtained for the mass of 25g are depicted. In addition, for a charge of 35g, the spectrum from one of the previous experiments, [5], is shown, see Fig. 10.

In order to compare the behavior of the overpressure time curves, spectra of the values measured on all sensors used are plotted in Fig. 11.

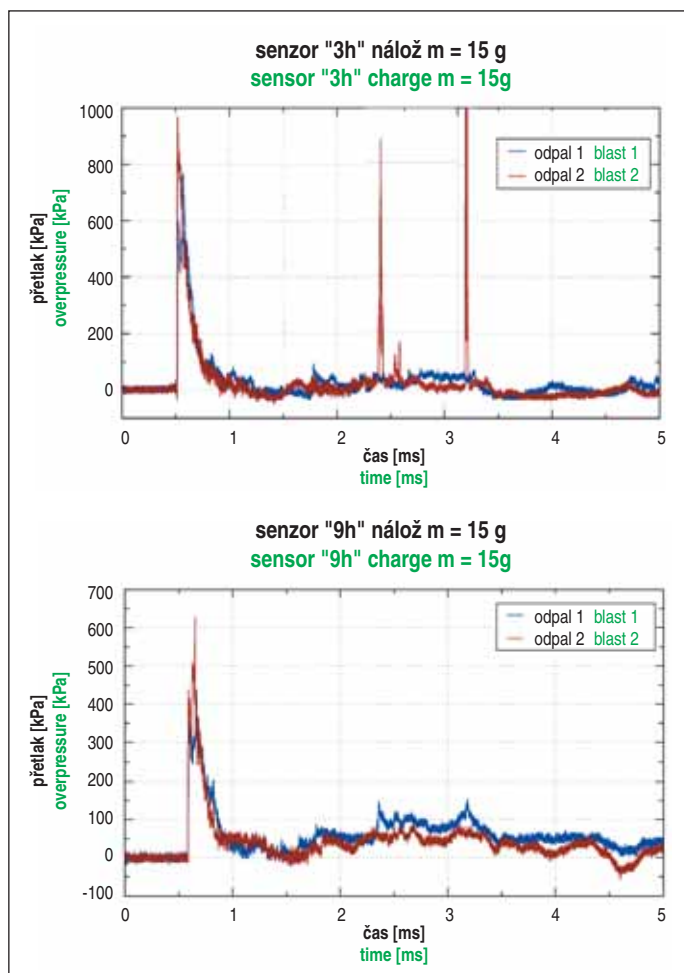
The maximum pressure was achieved at the impingement of the shockwave on the sensors located at “3h” and “9h” in the sidewalls of the center ring, as shown in Fig. 11. This can be justified by the distance of the sensors from the charge, where sensor A in the ceiling was 77cm away, while sensors in the sidewalls were 57cm. The sensor B, located in the ceiling at an angle from the charge towards the open end of the ring assembly, experienced virtually the same overpressure in both incident waves as in previous measurements, see Fig. 6.

## SIMILARITY RULES

The explosion causes the formation of one or more shock waves in the airspace (ASW), which is bounded by the structure under investigation. In a minimal period of time, a strong overpressure is created, characterized by a primary wave. This phenomenon may be repeated after a longer period of time. Secondary shockwaves can have an even greater impact on the structure’s load than the primary shockwave. It can be seen from the above examples that sometimes the primary wave is replaced by a secondary wave, see, e.g., sensor B recording.

First, the case of shock wave propagation through free space, which impinges on an ideally flat obstacle surface, is studied. The spherical pressure wave causes the positive pressure part of the wave, which is characterized by the maximum positive  $P_+$  and reflexive pressure  $P_{+r}$ , [9], the positive impulse  $I_+$  and the duration of the pressure part  $t_+ = t_p - t_1$ , while the vacuum (suction) part is characterized by extreme negative pressure values  $P_-$  negative impulse  $I_-$  and negative vacuum part duration  $t_- = t_n - t_p$ . Another important parameter of ASW is the amount of time ASW arrives from the explosion site to the sensor





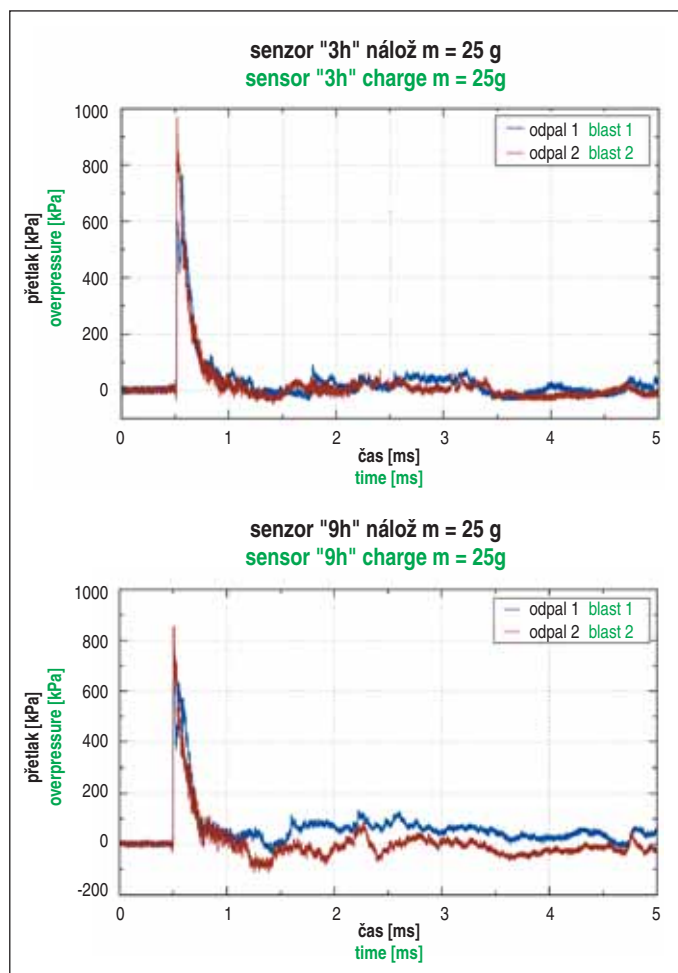
Obr. 8 Porovnání spektra pro „9h“ a „3h“ s náloží 15 g  
Fig. 8 Spectrum comparison for “9h” and “3h” with 15g charge

Maximální tlak byl dosažen při dopadu rázové vlny na senzory umístěné ve „3h“ a „9h“ v bočních stěnách střední části spojované trouby, jak je znázorněno na obr. 11. To lze odůvodnit vzdáleností senzorů od nálože, kde senzor A ve stropu byl vzdálen 77 cm, zatímco senzory v bočních stěnách byly 57 cm daleko. Senzor B, umístěný ve stropu v úhlu od nálože směrem k otevřenému konci kruhové sestavy, zaznamenal prakticky stejný přetlak v obou dopadajících vlnách, jako v předchozích měřeních (obr. 6).

**PRAVIDLA PODOBNOSTI**

Exploze vytvoří jednu nebo více rázových vln ve vzdušném prostoru (ASW), který je ohraničen zkoumanou konstrukcí. V minimálním časovém období je vytvořen silný přetlak, charakterizovaný primární vlnou. Tento jev se může opakovat i po delším časovém období. Sekundární rázové vlny mohou mít dokonce ještě větší dopad na zatížení konstrukce než primární vlna. Z uvedených příkladů lze vyčíst, že někdy je primární vlna nahrazena sekundární, viz např. záznam ze senzoru B.

Nejprve se studuje případ šíření rázové vlny, která dopadne na ideálně rovný povrch překážky, volným prostorem. Sférická tlaková vlna způsobuje pozitivní přetlakovou část vlny, která je charakterizována maximální hodnotou pozitivního tlaku  $P_+$  a reflexního tlaku  $P_{+r}$ , [9], kladným impulzem  $I_+$  a dobou trvání přetlakové části  $t_+ = t_p - t_1$ , zatímco vakuová (sací) část je charakterizována extrémní zápornou hodnotou tlaku  $P_-$ , negativním impulzem  $I_-$  a trváním vakuové části  $t_- = t_n - t_p$ . Dalším důležitým parametrem ASW je doba, po kterou ASW dorazí z místa výbuchu k senzoru, kde se měří tlak  $t_a = t_1 - t_0$ . Za těchto okolností je průběh vlny zobrazen



Obr. 9 Porovnání spektra pro „9h“ a „3h“ s náloží 25 g  
Fig. 9 Spectrum comparison for “9h” and “3h” with 25g charge

where the pressure is measured  $t_a = t_1 - t_0$ . Under these circumstances, the waveform is represented by Friedlander’s waveform, see Fig. 3. For more details, see [8] and [9].

The denotation used is found in Fig. 3.

**In-axis charge position**

The previous case is not the one which is of the most interest in real situations. The tunnel with circular cross-section will be considered. The behavior of shock waves inside of the tunnel will be briefly mentioned, which is exposed to explosion caused by symmetrically positioned charge and then the off-axis case will be contemplated.

Typical overpressure spectra for the first case of the charge location are seen in Fig. 4. Spherical charges with nominal masses of 35g were mounted centrally in the tube axis below sensor A (see Fig. 2). Two blasts were initiated sequentially. The spectrum recorded by sensor A above the charge indicates that a monotonic envelope may be formed, as opposed to eccentrically located charge, e.g., sensor B. Extreme overpressures from 1.5 to 1.8MPa were generated in sensor A. The impact of the second shot is greater than the first.

The two figures show that the waveform obtained in sensor A has the character of a solution to the evolutionary wave equation with damping leading to a generalization of the Friedlander equation (1)

$$p = P_0 \exp(-\delta(t - t_1)) \cos(\Omega(t - t_1)), \tag{2}$$

where  $T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\Omega}$  is the wave period (the time of one cycle) measured in seconds,  $f$  is the natural frequency (the number of cycles per second) measured in Hz. Moreover, the envelope of the spectra can be described analytically as

Friedlanderovým tvarem vlny, viz obr. 3. Více podrobností například v [8], [9].

Použitá označení jsou na obr. 3.

### Poloha nálože v ose tunelu

Předchozí případ není ten, o který je nutné projevit největší zájem. Je třeba se soustředit na tunel s kruhovým průřezem. Nejprve je stručně uvedena zmínka o chování rázových vln uvnitř tunelu, který je vystaven výbuchu symetricky umístěné nálože, a pak bude pozornost věnována případu umístění nálože mimo osu.

Typická přetlaková spektra pro první případ umístění nálože jsou vidět na obr. 4. Sférické nálože o jmenovité hmotnosti 35 g byly umístěny centrálně v ose trubky pod senzorem A, obr. 2. Postupně byly provedeny dva výbuchy. Spektrum zaznamenané senzorem A nad náloží naznačuje, že může být vytvořena monotónní obálka, na rozdíl od excentricky umístěné nálože, např. senzor B. V senzoru A byly vygenerovány extrémní přetlaky od 1,5 do 1,8 MPa. Dopad druhého odpalu je větší než u odpalu prvního.

Oba obrázky ukazují, že tvar vlny získaný v senzoru A má charakter řešení evoluční vlnové rovnice s tlumením vedoucí k zobecnění Friedlanderovy rovnice (1)

$$p = P_0 \exp(-\delta(t-t_1)) \cos(\Omega(t-t_1)), \quad (2)$$

kde  $T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\Omega}$  je perioda vlny (doba jednoho cyklu) měřená v sekundách,  $f$  je vlastní frekvence (počet cyklů za sekundu) měřená v Hz. Navíc může být obálka spektra analyticky popsána takto:

$$p = P_+ \exp\left(-\frac{(t-t_1)}{\tau}\right), \quad (3)$$

kde  $\tau = \frac{1}{\delta}$  je časová konstanta. Velmi známý je také logaritmický dekrement

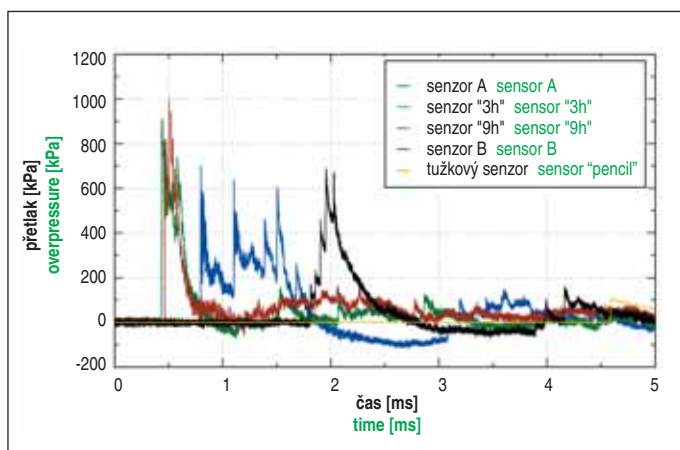
$$\Theta = \log \frac{p(t)}{p(t+T)} = \delta T. \quad (3a)$$

Parametry lze číst z obr. 3. Proto lze obálku průběhu přetlaku popsat takto:

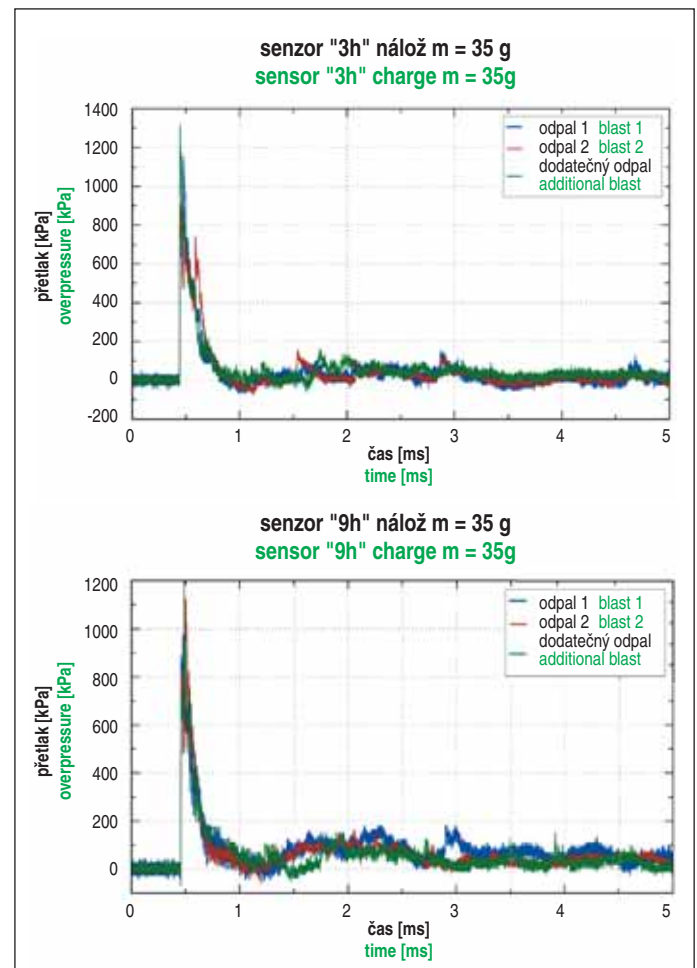
$$P_+ = 1.5 \text{ MPa}, P_- = 1.75 \text{ MPa}, E_1 = \exp\left(-\frac{(t-0.223)}{0.577}\right) \quad (3b)$$

a pro zápornou část spektra,  $P_+ = -1.2 \text{ MPa}$ ,  $P_- = -0.8 \text{ MPa}$ . Takže pro obálku  $P_+$  a  $P_-$  je:  $P_+ = 1.5E_1 \text{ MPa}$ ,  $P_- = 1.5E_1 \text{ MPa}$  v prvním a  $P_+ = 1.75E_1 \text{ MPa}$ ,  $P_- = 0.8E_2 \text{ MPa}$ ,  $E_2 = \exp\left(-\frac{(t-0.223)}{2.437}\right)$  ve druhém případě.

Podle Hopkinsonova-Cranzova zákona je měřítková vzdálenost definována takto



Obr. 11 Porovnání spekter u všech senzorů pro nálož 25 g a odpal 2  
Fig. 11 Spectrum comparison for all sensors charge 25g and blast 2



Obr. 10 Porovnání spekter pro „9h“ a „3h“ s náloží 35 g  
Fig. 10 Spectra comparison for „9h“ and „3h“ with 35g charge

$$p = P_+ \exp\left(-\frac{(t-t_1)}{\tau}\right), \quad (3)$$

where  $\tau = \frac{1}{\delta}$ , which is a time constant. Note that well known is also the logarithmic decrement  $\Theta = \log \frac{p(t)}{p(t+T)} = \delta T$ . (3a)

The parameters can be read from Fig. 3. Hence, the regression pressure envelope is described as:

$$P_+ = 1.5 \text{ MPa}, P_- = 1.75 \text{ MPa}, \text{ respectively,} \\ E_1 = \exp\left(-\frac{(t-0.223)}{0.577}\right), \quad (3b)$$

and for the negative part of the spectra,  $P_+ = -1.2 \text{ MPa}$ ,  $P_- = -0.8 \text{ MPa}$ , respectively. Hence, the course of the pressure envelope  $P_+$  and the suction envelope  $P_-$  is described as:  $P_+ = 1.5E_1 \text{ MPa}$ ,  $P_- = 1.5E_1 \text{ MPa}$ , in the first case, and  $P_+ = 1.75E_1 \text{ MPa}$ ,

$P_- = 0.8E_2 \text{ MPa}$ ,  $E_2 = \exp\left(-\frac{(t-0.223)}{2.437}\right)$  in the second case.

According to Hopkinson-Cranz law, dimensional scaled distance is defined as

$$Z = \frac{R}{\sqrt[3]{m}}, \quad (4)$$

where  $R$  is the distance from the detonation source to the point of interest [m] and  $m$  is the mass of the explosive charge [kg]. Thus, suppose that an explosive charge of mass  $m_1$  is situated at distance  $R_1$  from the point of interest, produces at this point a shock wave of peak overpressure  $P_1$ , duration of which attains  $t_+^1 = t_p - t_1$ ,



$$Z = \frac{R}{\sqrt[3]{m}} \quad (4)$$

kde  $R$  je vzdálenost od nálože k bodu zájmu [m] a  $m$  je hmotnost nálože [kg].

Je-li tedy nálož hmoty  $m_1$  umístěna ve vzdálenosti  $R_1$  od bodu zájmu, a v tomto bodě vytváří rázovou vlnu vrcholového přetlaku  $P_1$ , s trváním  $t_+^1 = t_p - t_1$ , tak platí  $Z = \frac{R_1}{\sqrt[3]{m_1}}$ . Tento zákon o změně měřítka znamená, že výbuchová vlna se stejným vrcholovým přetlakem  $P_2$  a podobnou formou spektra a jinou velikostí nálože  $m_2$  v bodě vzdáleném  $R_2 = ZR_1$  vytvoří charakteristický rozměr  $d_2 = Zd_1$ . Dále v daném bodě platí: trvání  $t_+^2 = Zt_+^1$ , čas dopadu  $t_2^{10} = Zt_1^{10}$ .

Typicky pro danou hodnotu měřítkové vzdálenosti  $Z$  by bylo stejného maximálního přetlaku dosaženo detonací dvou různých hmot konkrétní výbušniny; například exploze 10 kg TNT ve vzdálenosti 0,5 m způsobí stejný špičkový přetlak jako 80 kg TNT ve vzdálenosti 1 m.

Bližší pohled na spektra na obr. 3 ukazuje, že v senzoru A jak přetlak, tak vakuová fáze rychle klesají a hodnoty dosahují úrovně atmosférického tlaku velmi rychle, zatímco u senzoru B přetlak lokálně osciluje. Je také zřejmé, že i po relativně dlouhém časovém období, kdy přetlak na senzoru A dosáhne atmosférického tlaku, vykazuje senzor B stále vyšší hodnoty, i když tyto nemají rozhodující vliv na závažné strukturálně-mechanické změny.

V [9] bylo ukázáno, že i podobnost relace přetlaku a měřítkové vzdálenosti platí podle Mortona, tab. 2, [10]. Protože vztah z lit. [10] je zaveden pro anglická měřítka, tak i přes poměrně jednoduchý výpočet je proces převodu jednotek a čtení hodnot z grafů dosti komplikovaný (podrobnosti viz [8]). V praxi lze použít nějakého programátorského prostředku, např. Excelu.

### Případ nálože mimo osu tunelu

V případě umístění zdroje výbuchu mimo vodorovnou osu tunelu se přetlaková spektra komplikují. Zatímco při umístění nálože v ose tunelu existuje paralela s vlivem explozí vprostřed mezi rovnoběžnými bariérami, a tedy spektra mají charakter kmitání s útlumem, zde je průběh zatěžovacích spekter podstatně komplikovanější. Naštěstí pro posouzení konstrukce nerozhodují přetlaky v místech senzorů A, B nebo dokonce tužkového senzoru, kde jsou průběhy tlaků obecně nepředvídatelné (dochází k silným interakcím primární a sekundární vln), ale rozhodující jsou místa, kam dopadá primární vlna s největší intenzitou. Z obr. 8–11 se snadno zjistí, že zobecněná Friedlanderova rovnice (2) a obálka spektra (3) se změni na původní základní rovnici (1). Důvod je celkem nadsnadě. Spočívá ve faktu, že viskozita vzduchu a pevné fáze jsou značně rozdílné, takže nedochází k vlivům tečné složky zatížení na hranici mezi oběma fázemi, a tedy výrazně se uplatňuje pouze složka normálová (ta se také měří snímačem). Tento fakt se uplatní i v teorii a je platný pro všechny případy umístění nálože mimo osu tunelu. Výjimku tvoří pouze extrémní případy, které např. vedou k destrukci konstrukce. Lze tedy plně využít Hopkinsonova-Cranzova zákona (4) a grafů Mortona v [10]. Přesné výpočty, které zahrnují vliv relace mezi detonačním teplem trhavin Semtex 1A a TNT, v důsledku převodu anglických měr na SI a zpět, jsou opět poměrně komplikované. Více lze najít v publikaci [8].

Jestliže je radius  $R = 0,5$  m může se přibližně použít relace  $P_1/m_1 = P_2/m_2$  na různé stavy měřené na senzorech „3h“ a „9h“, které zřejmě rozhodují vzhledem ke vzdálenosti těchto senzorů od nálože. Snadno se lze přesvědčit, že

$$\frac{35}{1.25} \approx \frac{25}{0.925} \approx \frac{15}{0.75} \text{ s cca 20\% chybou.}$$

with arrival time  $t_1^{10} = t_1 - t_0$  and that  $Z = \frac{R_1}{\sqrt[3]{m_1}}$ . The scaling law implies that a blast wave with the same peak overpressure  $P_2$  and similar form would be produced at this point by another explosive charge  $m_2$  of characteristic dimension  $d_2 = Zd_1$ , situated at distance  $R_2 = ZR_1$ . Further, at the given point due to  $m_2$  one has: duration  $t_+^2 = Zt_+^1$ , and arrival time  $t_2^{10} = Zt_1^{10}$ . Typically, for a given value of scaled distance  $Z$ , the same peak overpressure would be obtained by the detonation of two different masses of a particular explosive; for example, the explosion of 10kg of TNT at a distance of 0.5m will produce the same peak overpressure as 80kg of TNT at a distance of 1m.

A closer look of the spectra in Fig. 4 shows that in sensor A both the overpressure and the vacuum phase decrease rapidly and the values reach the atmospheric pressure level very quickly, while for sensor B the overpressure oscillates locally. It is also clear that even after a relatively long period of time when the overpressure at sensor A reaches atmospheric pressure, sensor B still exhibits higher overpressures, although these do not have a decisive effect on severe structural mechanical changes, which is the case discussed in this section.

In [9] it was shown that also the similarity of the relation overpressure and dimensional scaled distance holds valid: according to Morton, 1967, Table 2, [10]. Since the relation is introduced for English measures, although the calculation is straightforward, the process of converting units and reading values from graphs is quite complicated, see [8] for details. In practice, certain programming tool can be used, Excel, for example.

### Off-axis charge position

If the explosion source is located outside the horizontal axis of the tunnel, the overpressure spectra become more complicated. While the impact of location of the charge in the tunnel axis is similar to the explosion in the environment between parallel barriers, and thus the spectra have the character of oscillation with attenuation, here the course of the load spectra is more interesting. However, fortunately the overpressures recorded at A, B and even at the pencil sensors the pressure waveforms are generally unpredictable (there are strong interactions of the primary and secondary waves) are not decisive for the design, but the places where the primary wave impinges most intensely are important (side walls). Looking at Fig. 8–11, one can easily see that the generalized Friedlander equation (2) and its envelope (3) change to the original basic equation (1). The reason is quite obvious. It is based on the fact that the viscosity of the air and the solid phase are considerably different and therefore there is no influence of the tangential component of the load at the interfacial boundary between these two phases and therefore only the normal component (which is also measured by the sensor) is decisive. This also applies in theory and is valid for all cases where the charge is located off the tunnel axis. The only exception is extreme cases, which, for example, lead to the destruction of the structure. One can therefore make full use of the Hopkinson-Cranz law which uses the dimensional scaled distance, see (4), and the Morton graphs in [10]. Precise calculations involving the effect of the relation between the Semtex 1A and TNT detonation heat and the conversion of English rates to SI and back are again quite complicated and the publication [8] can be referred to.

At roughly, if the radius  $R$  is constant equal to 0.5m, the relation  $P_1/m_1 = P_2/m_2$  can be used for different states measured in sensors “3h” and “9h”, which seem to be decisive with respect to the distance of these sensors from the charge. One easily can see that

$$\frac{35}{1.25} \approx \frac{25}{0.925} \approx \frac{15}{0.75} \text{ , with approximately 20\% error.}$$

## ZÁVĚR

V tomto článku je studována podobnost vlivu exploze mezi modelem a skutečnou konstrukcí kruhového tunelu. Pravidla podobnosti jsou odvozena od vlivu řady dynamických zatížení v důsledku explozí s různým uspořádáním nálože a jejich různých velikostí.

Friedlanderův tvar vlny se jeví jako základ pro všechny typy přetlakových spekter iniciovaných v tunelu při zvažování kritického zatížení pro praktický design. Ukázalo se, že když je nálož umístěna v ose tunelu, obálka spektra se chová jako rozšířená Friedlanderova rovnice, která popisuje účinek vlny způsobené náloží vystředěnou mezi dvěma rovnoběžnými bariérami s hladkými povrchy.

Situace je realističtější a praktičtější než v předchozím případě, pokud je nálož umístěna mimo osu tunelu, zde přibližně 20 mm nad dnem tunelu.

Důležitá, i když očekávaná pozorování, jsou spektra na 3 a 9 hodinách, která zahrnují kritický přetlak způsobující poškození konstrukce ostění. Zajímavá je jejich nápadná podobnost s klasickým Friedlanderovým průběhem s prakticky zanedbatelnými negativními impulzy. To indikuje rychlé vymizení normální složky rychlosti rázové vlny a zanedbatelný účinek smykových (tangenciálních) složek na přechodu mezi vzduchem a konstrukcí v důsledku vysokých rozdílů ve viskozitě vzduchu a pevné fáze.

Na základě podrobné analýzy různých zatěžovacích stavů dokument ukazuje relativně jednoduchou aplikaci teorie podobnosti, přičemž některé složitější vztahy lze snadno programovat pomocí jednoduchých prostředků (Excel, Fortran, Matlab).

*prof. RNDr. Ing. PETR PAVEL PROCHÁZKA, DrSc.,  
prochazk@fsv.cvut.cz,  
Ing. DAGMAR JANDEKOVÁ, Ph.D.,  
dagmar.jandekova@fsv.cvut.cz,  
Fakulta stavební, ČVUT v Praze*

*Recenzoval Reviewed: Prof. Dipl.-Ing. Dr. Helmut Kurth, MBA*

## Poděkování

*Tento příspěvek byl sponzorován GAČR, projekt číslo 17-04204S.*

## CONCLUSIONS

In this paper, the similarity of the explosion effect between the model and the real circular tunnel structure is studied. The similarity rules are derived from the influence of a number of dynamic loads due to explosions with different charge arrangements and different sizes.

Friedlander's waveform appears to be the basis for all types of overpressure spectra initiated in the tunnel when considering the critical load for practical design. It has been shown that when the charge is placed in the tunnel axis, the envelope of the spectrum behaves as an extended Friedlander's equation, which describes the effect of a wave caused by a charge centered between two parallel barriers with smooth surfaces.

The situation is more realistic and practical than in the previous case, if the charge is located off the tunnel axis, approximately 20mm above the bottom of the tunnel.

Important, albeit expected observations are spectra at 3 and 9 hours, which involve critical overpressures causing damage to the lining structure. Interesting is their striking resemblance to the classic Friedlander waveform with practically neglected negative impulses. This indicates a rapid disappearance of the normal shock wave velocity component and the negligible effect of shear (tangential) components due to the high differences in air and solid phase viscosities.

Based on a detailed analysis of various explosive load cases, the paper shows a relatively simple application of similarity theory, with some of the more complicated relationships easy to program using simple means (Excel, Fortran, Matlab).

*prof. RNDr. Ing. PETR PAVEL PROCHÁZKA, DrSc.,  
prochazk@fsv.cvut.cz,  
Ing. DAGMAR JANDEKOVÁ, Ph.D.,  
dagmar.jandekova@fsv.cvut.cz,  
Fakulta stavební, ČVUT v Praze*

## Acknowledgment

*This article was prepared with the financial support of GACR, project number 17-04204S.*

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] HARAMY, K. Y., BRADY, B. T. A methodology to determine in situ rock mass failure, *Internal report of Bureau of Mines*, Denver, CO, USA 1995.
- [2] HARAMY, K. Y., MAGERS, J. A., MCDONNELL, J. P. Mining under strong roof, *7<sup>th</sup> Int conf. on ground control in Mining*, Bureau of Mines, Denver, USA 1992: 179–194.
- [3] BAKHTAR, K. Impact of joints and discontinuities on the blast-response of responding tunnels studied under physical modeling at 1-g, *Int J Rock Mech. & Min Sci*, 34(3–4), 1997: Paper No. 021.
- [4] ZHANG, P., WANG, J., QI, S., LI, G., WANG, S., YAN, F. J. Experimental analysis of the flame speed, brightness and zone thickness of gasoline-air explosion in a closed tunnel, *Loss Prevent Process Ind* 2018, 53: 129–135.
- [5] PROCHÁZKA, P. P., JANDEKOVÁ, D., VÁLEK, M. J. Study of shock wave propagation in tunnel (Studie šíření rázové vlny v tunelu), *Tunel* 2019, 28(4): 46–50.
- [6] PROCHÁZKA, P. P., TRČKOVÁ, J. Stress and deformation states in underground structures using coupled modeling, *Acta geodyn et geomat* 2008, 5(4): 361–375.
- [7] DE, A., ZIMMIE, T. F., ABDOUN, T., TESSARI, A. Physical Modeling of Explosive Effects on Tunnels, *Fourth Int. Symp. Tunnel and Safety and Security*, Frankfurt am Main, Germany, March 17–19 2010.
- [8] PROCHÁZKA P. P. Tunnel lining damage due to explosions using DGBEM, *Lambert Publ House* 2019.
- [9] KARLOS, V., SOLOMOS, G., LARCHER, M. Analysis of the blast wave decay coefficient using the Kingery–Bulmash data, *Int J Protect Struct* 2016, 7(3): 409–429.
- [10] MORTON, H. S. Scaling the effects of air blast on typical targets, *APL Technical Digest*: 9, (1967) [https://www.jhuapl.edu/techdigest/.../V7\\_N1\\_1967\\_Morton.pdf](https://www.jhuapl.edu/techdigest/.../V7_N1_1967_Morton.pdf)



# POŽÁRNÍ BEZPEČNOST TUNELŮ 2020

## IX. ročník mezinárodní konference



23.-24.09.2020  
Hotel Energetic \*\*\*\*  
Rožnov pod Radhoštěm

Ředitelství silnic a dálnic ČR,  
Národní diaľničná spoločnosť, a.s., SR  
a ve spolupráci s Ministerstvom zahraničných  
věcí České republiky Vás společně zvou



### KONTAKTY:

Bc. Kateřina Bebčáková - Manažer tunelů, grantů a konferencí ☎ +420 778 498 896 @ konference@kbkfire.cz  
Alena Rosypalová - Asistentka oddělení tunelů ☎ +420 777 480 709 @ rosypalova@kbkfire.cz

## ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCES

### JUBILEJNÍ 25. ROČNÍK SEMINÁŘE ZPEVNĚVÁNÍ, TĚSNĚNÍ A KOTVENÍ HORNINOVÉHO MASIVU A STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ V OSTRAVĚ

### 25<sup>TH</sup> ANNUAL INTERNATIONAL COLLOQUY/SEMINAR REINFORCEMENT, SEALING AND ANCHORING OF ROCK MASS AND ENGINEERING CONSTRUCTION IN OSTRAVA

The 25<sup>th</sup> annual international colloquy Reinforcement, Sealing and Anchoring of Rock Mass and Engineering Construction was held at the VŠB Technical University in Ostrava from 5<sup>th</sup> to 6<sup>th</sup> March. It was co-organised by the Department of Geotechnical Engineering and Underground Construction of the Faculty of Civil Engineering in collaboration with the VŠB-TU Ostrava and Minova Bohemia s.r.o. Important experts in this field and two long-time experts were at the birth of the colloquy as guarantors – Prof. Aldorf and Ing. Janíček. Unfortunately, Prof. Aldorf did not live to see this festive annual event and participants in this year's annual colloquy expressed with thankful applause the memory of him and thanks for his contribution to the foundation and many years of leading this professional event. As usual, the colloquy was sponsored not only by the Czech Tunnelling Association, but also by the Czech Mining Authority and the Dean of the Faculty of Civil Engineering. From the time of its first years, the professional focus of the colloquy has reflected gradual departure of the Czech Republic from mining, whilst in the first years of the colloquy, contributions on mining themes occupied major part of the professional programme. Contributions from underground construction, geotechnical engineering and underground

construction started gradually to asserted themselves to a greater extent. This aspect of checks in the mining industry in the CR was accentuated even in several papers at this year's colloquy. They provoked stimulating discussion among the participants pointing out this problem from the aspect of current as well as future needs of our society not only in the field of power engineering. This year's colloquy was attended by ca 100 participants, including foreign guests.

Jako každoročně se i letos konal na VŠB-Technické univerzitě Ostrava seminář Zpevnění, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí, který spolupořádá katedra geotechniky a podzemního stavitelství Fakulty stavební ve spolupráci VŠB-TU Ostrava s firmou Minova Bohemia s.r.o. již 25 let. U zrodu původní myšlenky pořádat takto zaměřený seminář stáli významní odborníci v této oblasti a dva dlouholetí odborní garanti této akce – prof. Aldorf a Ing. Janíček, za což jim oběma patří velký dík. Pan prof. Aldorf se ale, bohužel, již tohoto jubilejního ročníku semináře nedožil a účastníci letošního ročníku vyjádřili panu profesorovi vzpomínku i poděkování za přínos k založení i mnoholeté vedení této odborné akce děkovným potleskem. Jako

již tradičně seminář zaštitila jak Česká tunelářská asociace, tak i Český báňský úřad a děkan Fakulty stavební.

V odborném zaměření semináře se od doby jeho prvních ročníků projevoval postupný odklon ČR od hornictví, zatímco v prvních ročních seminářích zaujímaly příspěvky s hornickou tematikou převážnou část odborného programu, postupně se ve větší míře uplatňovaly příspěvky z podzemního stavitelství, geotechniky i pozemního stavitelství. Tento aspekt útlumu hornictví v ČR byl akcentován i v několika příspěvcích letošního semináře, které vyvolaly podnětné diskuse účastníků poukazujících na tento problém z hlediska současných i budoucích potřeb naší společnosti, a to nejen v oblasti energetiky.

Letošního ročníku semináře konaného ve dnech 5.–6. března se účastnilo cca 100 účastníků, včetně zahraničních. Letošní účast byla poněkud poznamenána začínající koronavirovou pandemií, která znemožnila příjezd některých účastníků. I přes tyto negativní okolnosti zaznělo v průběhu semináře celkem 18 příspěvků.

Příspěvek autorů z OKD a.s. se věnoval problematice technické likvidace hlavních důlních děl závodu Útlum-Jih (bývalý Důl Paskov), značná pozornost byla v prezentaci věnována, mimo jiné, stavbám hrázových objektů pro účely likvidace dolu. Příspěvek dokumentoval výhody využití cementové výplňové směsi ADIBET-W30ES ve srovnání s dalšími standardně používanými materiály pro stavbu hrází (sádra, cementopopílková směs, beton, cihla). V dalším příspěvku s hornickou tematikou kolektiv autorů z firem Minova Bohemia s.r.o. a OKD a.s. prezentoval úspěšnou ražbu důlní chodby v kombinované výztuži (kombinace podpěrných ocelových TH oblouků, krátkých ocelových a sklolaminátových svorníků, technologie Bullflex a vysokého kotvení) s využitím souběhu činnosti razicího kombajnu a subtilního vrtačího a svorníkovacího vozu ANDRIBOT. Další příspěvek autorů výše uvedených firem se věnoval výhodám a nevýhodám lanových kotev MCA-M s kotevní objímkou a pramencových kotev IR především z hlediska jejich rozdílné tuhosti a únosnosti, jejich spolupráce s důlní ocelovou obloukovou výztuží a chování při působících zatíženích včetně mimořádných zatížení dynamických (např. důlní otřesy). V dalším společném příspěvku obou firem bylo představeno úspěšné odzkoušení dálkového rozvodu pro netradiční aplikaci výplňových fenolových hmot EKOFLEX do indikačních odlehčovacích vrtů v nejhloběji situovaném porubu v podmínkách OKD s extrémními tlakovými a plynovými poměry. Velmi širokou, úspěšnou 15letou spoluprací mezi firmou Minova Bohemia s.r.o. a největší slovenskou důlní společností Hornonitrianske Bane Priedvidza a.s. v oblasti zlepšení bezpečnosti a ochrany zdraví a snížení osobních i materiálních nákladů v důlní společnosti rekapituloval příspěvek Ing. Jankuly.

Zástupce australské firmy GroundProbe pan Benny Chen prezentoval inspirativní příspěvek zaměřený na aplikaci moderní LIDAR (Light Detection And Ranging) technologie v hornictví a podzemním stavitelství, autoři dokumentovali možnosti využití specializovaného 3D skeneru a výkonného počítače při sledování deformací a tloušťky stříkaného betonu v reálném čase. Zkušenosti s aplikací těsnících a zpevňovacích injektáží prováděných v kabelových tunelech v Norsku částečně vedených pod mořem připravil kolektiv autorů z firmy Metrostav a.s. Ing. Lacina z firmy AMBERG Engineering Brno, a.s. přednesl zkušenosti a poznatky z komplexní rekonstrukce šachty kolektoru v Brně. Šachta byla situovaná v mimořádně nepříznivých geologických poměrech charakterizovaných nesoudržnými zvodněnými zeminami různého charakteru, sanace zahrnovala jak aplikaci těsnících injektáží, tak i výplňovou injektáž přilehlého horninového prostředí za ostěním.

Problematikou injektáží se zabýval rovněž příspěvek Ing. Kocnára ze žilinské pobočky firmy Minova Bohemia s.r.o. – prezentoval možnosti zlepšení přípravy injektážních sanačních prací kameninových příp. cihlových staveb, včetně využití jádrových vrtů, maloprůměrových vrtů (průměr 14 mm) a injektážního pokusu, s cílem identifikace vhodného injekčního materiálu, jeho množství a způsobu jeho aplikace pro kvalitní a spolehlivý efekt prací.

Praktické aplikace technologie samozavrtávaných mikropilot jako alternativy k mnohdy méně efektivním a méně únosným mikropilotám trubkovým představil ve svém příspěvku Ing. Súkeník (Minova Bohemia s.r.o.). Tentýž autor se ve svém dalším příspěvku věnoval vybraným sklolaminátovým kompozitním stabilizačním a výztužným prvkům – sklolaminátovým tyčovým prvkům Spinmax a výztužným sítím typu Powermesh a uvedl zajímavé příklady jejich praktické aplikace jak v dočasných, tak i trvalých konstrukcích. Příspěvek dokumentoval, že tyto prvky mohou být díky svým unikátním vlastnostem (především nízké hmotnosti, odolnosti vůči povětrnostním vlivům, korozi a chemickým vlivům, vysoké tahové pevnosti) využity jako alternativa k ocelovým prvkům trvalých konstrukcí.

Firma Strix Chomutov a.s. prezentovala možnosti využití prostorových ocelových stabilizačních maticí KRISMER pro stabilizaci svahových těles i pro některé další netradiční aplikace. Problematikou sanace skalní stěny kombinací ocelových sítí, plastových PE sítí Macmat L, dynamických bariér a kotvení prezentoval kolektiv autorů z firmy STRABAG Rail, a.s.

Program semináře zahrnoval i příspěvek z oblasti monitoringu technické seismicity od beranění pilot pro založení nové haly v blízkosti historické budovy, prezentovaný slovenskými kolegy z firmy Ingstav GV s.r.o.

Výsledky společného akademického a firemního výzkumu na tomto semináři v letošním roce představil doc. Vojtasík z Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava, který se ve spolupráci s firmou GME s.r.o. zabýval experimentálním stanovením únosnosti zavrtávané injektované mikropiloty GEOPUR® TECHNOLOGIES, namáhané tlakovým zatížením.

Tradiční účastníci našich seminářů z Univerzity Slezské v Gliwicích připravili pod vedením prof. Joanny Bzowky velmi zajímavé příspěvky týkající se monitoringu kvality kontaktu vrstev vozovek s využitím fluoresceinu, aplikace geosyntetik v dopravním stavitelství v oblastech s vlivy poddolování a využití optických vláken pro monitoring pilot i propagaci trhlin ve vrstvách vozovek. Z důvodu začínající koronavirové pandemie se nemohli polští kolegové osobně semináře zúčastnit a jejich příspěvky jsou tak publikovány pouze ve sborníku semináře.

Organizátoři věří, že byl program pro účastníky semináře zajímavý, že ukázal nejen nové technologie, materiály a trendy v oblasti zpevňování, těsnění a kotvení, ale dokumentoval i některé efektivní kombinace standardních technologií a materiálů pro dosažení jejich synergického efektu při řešení mnohdy velmi komplikovaných problémů.

V neposlední řadě umožnil studentům geotechnických, ale i dalších stavebních i hornických oborů seznámit se s řešením řady praktických problémů a setkat se a diskutovat s představiteli praxe. Lze si jen přát, aby i tato akce přispěla ke zvýšení zájmů studentů o obory se zaměřením na geotechnické a podzemní stavitelství.

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



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

### ČESKÁ REPUBLIKA

#### METRO D – NOVÁ LINKA PRAŽSKÉHO METRA

Práce na realizaci nulté etapy výstavby trasy metra D formou geologického průzkumu probíhají již více než tři čtvrtě roku a dílu se daří. V tuto chvíli jsou plněny všechny zadané úkoly, které jsou potřebné pro vlastní geologický průzkum, ale i pro přípravu a realizaci dalších etap výstavby.

V zóně ovlivněné stavbou připravují společnosti INSET s.r.o. a GeoTec-GS, a.s. zahájení průběžné pasportizace celkem 59 již zaměřených a osazených objektů, kde 17 z nich se nachází v oblasti nadzemní zástavby a zbylých 42 je umístěno ve vlastním podzemí.

Po vyhloubení vstupních šachet na jednotlivých lokalitách prováděného geologického průzkumu provozního úseku Pankrác – Olbrachtova úspěšně pokračují ražby horizontálních štol a tunelů. Společnost HOCHTIEF CZ a. s. na lokalitě označené jako VO-OL (obr. 1) má vyraženo již více než 60 m průzkumné štoly, současně na lokalitě PAD4 (obr. 2) má společnost Metrostav a.s. za sebou již více než 25 m a nakonec na lokalitě OL1 (obr. 3) společnost STRABAG a.s. prvních cca 20 m štoly. Na všech lokalitách kromě již zmíněných ražeb probíhá také vlastní geologický průzkum a monitoring, geofyzikální měření, průběžné zpracování kvartálních zpráv a archeologický dohled. Zatím zastižené geologické prostředí prokazuje a dokladuje velmi složité podmínky, které si při vlastním provádění vyžadují i uplatnění doplňkových opatření nutných k dalšímu bezpečnému provádění díla.

Všechny prováděné práce jsou realizovány v souladu s harmonogramem a ražbou skutečně zastiženými podmínkami.

V souladu se schváleným fázováním výstavby trasy metra D byla začátkem tohoto roku zahájena veřejná soutěž na výběr zhotovitele prvního navazujícího provozního úseku Pankrác – Olbrachtova (stavební část), která ve své procesní a zadávací části nadále probíhá. Zadavatel DP hl. m. Praha v této fázi soutěže řeší zejména své správné formulace odpovědí na oprávněné dotazy uchazečů

### THE CZECH REPUBLIC

#### METRO D – NEW LINE OF PRAGUE METRO

The work on implementation of the zero stage of the development of metro Line D in the form of geological survey has been going on for more than three quarters of a year and is doing well. All assigned tasks required for the geological survey itself, but also for the preparation and implementation of next construction stages, are at the moment fulfilled.

The companies of INSET s.r.o. and GeoTec-GS, a.s., are at the moment preparing for commencement of the continuous condition survey of the total of 59 already surveyed buildings and structures with sensors installed on them, where 17 of them are located in the area with above ground buildings and remaining 42 structures are located underground.

After completion of sinking entrance shafts in individual localities of the geological survey for the Pankrác – Olbrachtova operating section, the excavation of horizontal galleries and tunnels successfully proceeds. The company of HOCHTIEF CZ a. s. in the locality denoted as VO-OL (see Fig. 1) has already finished excavation of over 60m of the exploratory gallery and, at the same time, the company of Metrostav a.s. has already finished more than 25m of excavation and, finally, the company of STRABAG a.s. has finished excavation of initial 20m of the gallery in the locality OL1 (see Fig. 3). Geological survey itself, monitoring geophysical measurements, continuous processing of quarterly reports and archaeological supervision are underway in all localities with the exception of the above-mentioned excavation locations. The still encountered geological environment proves and documents very complicated conditions requiring even additional measures necessary for further safe execution of the work.

All work operations are carried out in compliance with the works schedule and according to the conditions encountered by the excavation.

In accordance with the approved phasing of metro Line D construction, the public tender for the contractor for the first linking Pankrác – Olbrachtova operating section (civil part) commenced at the beginning of this year. It is still ongoing in its process and procurement part. In this tendering phase, the client, DP hl.m. Praha (Prague Public Transit Company), solves above all its correct formulations of responses to enquiries of legitimate tenderers regarding the setting documents. The outlook date for selection of the contractor and commencement of the construction of this part of Line D is summer 2020.

In the meantime, Inženýring dopravních staveb, a.s., the procurer for the contracting authority, was successfully administering the application for construction permission for the construction of the next linking operating section, Olbrachtova – Nové Dvory with access tunnels from Písnice. In March, the Department for Roads and Railways of the Prague City Hall issued the announcement about commencing the construction permission proceedings for the particular section.



Obr. 1 Lokalita VO-OL  
Fig. 1 Locality VO-OL



Obr. 2 Lokalita PAD4  
Fig. 2 Locality PAD4

k zadávací dokumentaci. Výhledovým datem pro výběr zhotovitele a zahájení stavby této části trasy je léto letošního roku.

Mezitím obstaravatel zadavatele společnost Inženýring dopravních staveb a.s. dále úspěšně administruje žádost o stavební povolení pro stavbu dalšího navazujícího provozního úseku Olbrachtova – Nové Dvory s přístupovými tunely z Písnice. V březnu bylo ze strany MHMP odboru pozemních komunikací a drah již vydáno oznámení o zahájení stavebního řízení pro daný úsek.

Doufejme tedy, že soubor zde výše uvedených veskrze pozitivních informací o přípravě a výstavbě trasy metra D budeme moci i příště rozšířit o další soubor takto podobně laděných informací.

*Ing. BORIS ŠEBESTA, borissebesta61@gmail.com,  
Ing. MICHAL ŠERÁK, 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 železnic, státní organizace, a zhotovitelem stavby společnost OHL ŽS, a.s.

Aktuálně plynulý průběh prací na obou tunelech komplikuje uzavření státních hranic a přijetí dalších opatření v souvislosti s pandemií covid-19.

### Tunel Mezno

Tunel Mezno (obr. 4) je ražený železniční dvoukolejný tunel celkové délky 840 m, z toho ražená část tvoří 768 m, navazující hloubená část u vjezdového portálu má délku 48 m a u výjezdového portálu 24 m.

K 30. 3. 2020 je vyraženo 480 m v kalotě a 280 m v opěří tunelu. Posledních cca 200 m ražeb probíhá střídavě ve vystrojovací třídě VT3 a VT 4 s délkou záběru od 1,6 do 2,2 m. Ražbou jsou zastíženy převážně rozpukané parafyly pevnostní třídy R3 s velkou hustotou diskontinuit, výrub je v posledních záběrech vlhký s výskytem lokálních úkapů. Radiální deformace dosahují nízkých hodnot do 10 mm. Proražení tunelu se předpokládá v první polovině července 2020.

Let us therefore hope that we will be able to expand the set of the above-mentioned positive information about the preparation and construction of Line D and add another set of similarly sounding information.

*Ing. BORIS ŠEBESTA,  
borissebesta61@gmail.com,  
Ing. MICHAL ŠERÁK, serak@idspraha.cz*

## NEW RAILWAY TUNNELS ON RAILWAY CORRIDOR IV

Two new railway tunnels are under construction within the framework of the “Modernisation of the 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.

The currently smooth progress of the work on both tunnels is complicated by closing of state borders and adoption of other measures relating to the Covid-19 pandemic.

### Mezno tunnel

The Mezno tunnel (see Fig. 4) is an 840m long mined double-track railway tunnel; 768m of its length are being mined; the following cut-and-cover sections at the entrance and exit portals are 48m and 24m long, respectively.

As of 30<sup>th</sup> March 2020, the excavation of 480m in top heading and 280m in bench has been finished. The last ca 220m of excavation proceed alternately through VT3 and VT4 excavation support classes with the excavation advance length ranging from 1.6 to 2.2m. The excavation has encountered mostly fractured R3 strength class paragneiss with very close joint spacing; the excavated space surface is moist in the last rounds, with occurrence of local dripping. Radial deformations reach low values up to 10mm. The tunnel breakthrough is assumed to take place in the first half of July 2020.

### 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.



Obr. 3 Lokalita OLI  
Fig. 3 Locality OLI





Obr. 4 Hloubení stavební jámy vjezdového portálu  
Fig. 4 Excavation of construction pit for the entrance portal

### 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.

Tunel byl 11. 2. 2020 slavnostně proražen. Poté byly zahájeny práce na zesílení primárního ostění v úseku se zvýšenými radiálními deformacemi ostění v kalotě, kdy naměřené hodnoty překročily varovné stavy. Pro bezpečné dokončení ražeb a vybudování stabilního primárního ostění v celém profilu tunelu byla doplněna realizační projektová dokumentace o technické řešení zesílení primárního ostění v úseku tunelometru 336,00–390,50. Navržené řešení spočívá zejména v dodatečném zesílení ostění kaloty svorníky IBO R51L délky 12 m (obr. 5) a následné ražbě opěří a dna v profilu s protiklenbou ve vstrojovací třídě VT5.

Ing. TOMÁŠ JUST, [tjust@ohlzs.cz](mailto:tjust@ohlzs.cz), OHL ŽS, a.s.

The tunnel was ceremonially broken through on 11<sup>th</sup> February 2020. Then the work on strengthening of the primary lining in the section with increased radial deformations of the lining in top heading, where the measured values exceeded the warning states, started. For safe completion of the excavation and construction of a stable primary lining around the whole tunnel circumference, the design of means and methods was supplemented by adding the technical solution to strengthening the primary lining in the section between tunnel metre chainages 336.0 and 390.50. The proposed solution lies first of all in additional strengthening of the top heading lining with 12m long IBO R51L rock bolts (see Fig. 5) and subsequent excavation of bench and bottom through excavation support class VT5.

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 construction work on the Ovčiarisko tunnel itself commenced in 1996 by driving an exploratory gallery. The exploratory gallery



Obr. 5 Vrtání dodatečných kotev IBO R51L délky 12 m  
Fig. 5 Drilling for additional 12m long IBO R51L anchors

## SLOVENSKÁ REPUBLIKA

### TUNELY NA DIALNIČNEJ 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 celkový úsek je dlhý 11,320 km. Diaľničný úsek tvorí južný obchvat mesta Žilina. Stavebníkom a zároveň budúcim správcom tunela je Národná diaľničná spoločnosť, a. s. Spustenie diaľničného úseku prispeje k lepším životným podmienkam ako pre mesto Žilina, tak aj pre okolie.

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. Preto je zaradený medzi stredne dlhé tunely. Primárne 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 (razenie) sa začala 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.

Aj napriek súčasnej ťažkej dobe nielen na Slovensku, ale na celom svete, k aktuálnemu dátumu (šírenie ochorenia COVID-19 spôsobeným koronavírusom SARS-CoV-2) stavebníci prijali zvýšené hygienické opatrenia a práce na tuneloch pokračujú, a to najmä na príprave jednotlivých stavebných objektoch na odovzdanie do užívania širokej motoristickej verejnosti (predpoklad koniec roka 2020).

Zhotoviteľ oboch tunelov (Ovčiarisko, Žilina) zapracováva požiadavky objednávateľa pre technológiu tunelov, a následne budú vykonané individuálne funkčné skúšky riadiaceho systému technológie, dymové skúšky, skúšky vetrania, funkčné skúšky VN prípojok. Po vyhodnotení skúšok bude zrealizovaná integrácia jednotlivých systémov do integrovaného operátorského pracoviska Národnej diaľničnej spoločnosti – pracovisko Považská Bystrica. Toto integrované operátorské pracovisko bude v budúcnosti integrovať dohľad a riadenie troch diaľničných tunelov – Považský Chlmec, Ovčiarisko a Žilina – spolu s príslušnými diaľničnými úsekmi D1 a D3.

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).

#### Tunel Prešov

Tunel Prešov je ďalší diaľničný tunel vo výstavbe na Slovensku a nachádza sa na úseku diaľnice D1 Prešov západ – Prešov juh. Trasa tunelovej časti juhozápadného obchvatu Prešova bude tvorená dvoma nezávislými tunelovými rúrami, severná tunelová rúra bude dĺžky 2 230,5 m a južná tunelová rúra bude dĺžky 2 244,0 m.

V prvom kvartáli roku 2020 prebiehali práce na betonážach horných klenieb definitívneho (sekundárneho) ostenia oboch tunelov. K dátumu 20. 4. 2020 je v JTR vybetónovaných 160 ks horných klenieb z celkového počtu 190 ks, čo predstavuje 84 % zrealizovaných prác a v STR je vybetónovaných 142 ks horných klenieb z celkového počtu 190 ks, čo predstavuje 75 % zrealizovaných prác.

Zároveň boli začaté práce na definitívnom (sekundárnom) ostení priečných prepojení, ktoré sú realizované postupne tak, ako pokračujú práce na oboch tunelových rúrach, a taktiež s ohľadom na potreby stavebnej pripravenosti pre technologickú časť tunelov. V najväčšej fáze rozpracovanosti je priečne prepojenie č. 5, na

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 excavation 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.

Even despite the current difficult time not only in Slovakia but in the whole world, as of the current date (spreading of COVID-19 disease caused by coronavirus SARS-CoV-2), the constructors have adopted tougher hygiene measures and the work on the tunnels continues, first of all on the preparation of individual structures for putting the tunnels into service of the wide motoring public (assumption at the end of 2020).

The contractor for both tunnels (Ovčiarisko, Žilina) has been integrating requirements of the project owner for tunnel equipment and, subsequently, individual functional testing of the equipment management system, smoke testing, ventilation testing, functional tests of HV connection lines will be conducted. After assessing the tests, individual systems will be integrated into the integrated operator workplace of the National Motorway Society – the Považská Bystrica workplace. In the future, this integrated operator workplace will integrate supervision and management of three motorway tunnels – the Považský Chlmec, Ovčiarisko and Žilina – together with adjacent sections of the D1 and D3 motorways.

The contractor for Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka section of the D1 motorway is the Ovčiarisko Consortium (Doprastav, a.s. – Consortium leader, VÁHOSTAV – SK, a.s. – Consortium member, Strabag, s.r.o. – Consortium member, Metrostav a.s. – Consortium member).

#### Prešov tunnel

The Prešov tunnel is a motorway tunnel under construction in Slovakia. It is located in the Prešov West – Prešov South section of the D1 motorway. The route of the tunnelled part of the southwestern by-pass of Prešov will be formed by two independent tunnel tubes, the 2230.5m long NTT and 2244.0m long STT.

The work on concreting the upper vaults of the final (secondary) linings of both tunnels continued in the first quarter of 2020. As of 20<sup>th</sup> April 2020, concreting of 160 upper vaults of the total of 190 vaults has been finished in the STT. It represents 84% of the finished work; concreting of 1142 upper vaults of the total of 190 vaults has been finished in the NTT. It represents 75% of the finished work.

At the same time the work commenced on the final (secondary) lining of cross passages, which have been completed gradually, taking into consideration the progress of the work on both tunnel tubes and the needs of the completion of civil works required for installation of tunnel equipment. The cross passage No. 5, where the concreting of the upper vault has been finished throughout the length, is at the highest stage of completion. At the moment concreting of the upper vault in cross passage No. 7 is being carried out.

The work on cable ducts has commenced in both tunnel tubes, but it is preceded by preparation of concrete sub-base for placement of kerbs and slotted drain pipes, respectively, depending on the side of roadway gradient on which the particular structure is located.



ktorej je v celej dĺžke zabetónovaná horná klenba. V súčasnej dobe je realizovaná betonáž hornej klenby priečného prepojenia č. 7.

V oboch tunelových rúrach boli začaté práce na kábelovodoch, ale predtým je urobená príprava podbetonávok na uloženie obrubníkov, resp. štrbinových žlabov, podľa toho, na ktorej strane sklonu vozovky sa daná konštrukcia nachádza.

V neposlednom rade boli dokončené základové bloky hĺbených častí tunelov a prebieha montáž debniaceho vozíka pre betonáž horných klenieb hĺbených častí.

Celú stavbu juhovýchodného obchvatu mesta Prešova realizuje Združenie D1 Prešov (EUROVIA SK a.s., EUROVIA CS a.s., Dopřstav, a.s., Metrostav a.s., Metrostav Slovakia a.s.), tunel Prešov realizuje spoločnosť Metrostav a.s. Predpokladaný termín odovzdania stavby motoristickej verejnosti je v druhej polovici roku 2021.

### Tunel Čebrať

Súčasťou diaľničného úseku D1 Hubová – Ivachnová bude aj dvojrúrový 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 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 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 zahŕňujú aj dokončenie stavebnej časti tunela. Výber zhotoviteľa je realizovaný formou súťažného dialógu, pričom jeho ukončenie je možné očakávať koncom roku 2020.

### Tunel Bikoš

V júli 2019 sa slávnostným poklepaním základného kameňa začala výstavba rýchlostnej cesty R4 Prešov, severný ochvat, I. etapa. Súčasťou 4,3 km dlhého úseku rýchlostnej cesty budovanej v plnom profile bude aj dvojrúrový tunel Bikoš s dĺžkou 1155 m. V jarných mesiacoch roku 2020 stále prebiehajú prípravné práce pre začiatok razenia tunela, hĺbenie a zaisťovanie stavebnej jamy severného portálu. Razenie samotného tunela od severného portálu by malo prebiehať po zriadení mikropilotového dáždnika od polovice mája. Práce na južnom portáli tunela by mali začať v jarných mesiacoch. 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, Dopřstav, a.s.,  
Ing. PETR HYBSKÝ, Metrostav a.s.,  
Slovenská tunelárska asociácia*

At last but not least, foundation blocks of the cut-and-cover parts of the tunnels have been finished and tunnel form travellers for concreting the upper vaults of the cut-and-cover parts are being assembled.

The whole construction of the southeastern by-pass of the town of Prešov is being carried out by Consortium D1 Prešov (EUROVIA SK a.s., EUROVIA CS a.s., Dopřstav, a.s., Metrostav a.s., Metrostav Slovakia a.s.); the Prešov tunnel is being constructed by Metrostav a.s. The assumed deadline for bringing the structure into service for the motoring public is in the second half of 2021.

### Čebrať tunnel

The 3.8km long Čebrať double-tube tunnel will be part of the Hubová – Ivachnová section of the D1 motorway. Extensive problems with the stability of the area at the western portal of the Čebrať tunnel and the connecting sections of the motorway were diagnosed in recent months. They require extensive changes in the technical solution, which have to be assessed in the EIA process and subsequently be approved in the meaning of the Building Act. For that reason the work operations on this tunnel are still suspended and only the Geological Task project is being realised.

A consortium formed by OHL ŽS, a.s., and Váhostav – SK, a.s., is the construction contractor.

### Višňové tunnel

The 7.5km long Višňové tunnel, which is part of the Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala section of the D1 motorway, leading south of the regional capital Žilina, is to be the longest motorway tunnel in Slovakia. Both tubes of the Višňové tunnel were broken through in August 2018, after 40 months of tunnelling. Over 60% of concreting the secondary lining has been finished.

At the beginning of March 2020, an agreement was approved and signed between the project owner, Národná diaľničná spoločnosť (National Motorway Society) and the contractor, the Salini Impregilo – Dúha Consortium regarding the termination of the work on the Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala section. The work operations on the tunnel and the associated motorway section were terminated. Public procurement of the work connected with continuation and completion of the civil part of the motorway construction covering also completion of the civil part of the tunnel was announced at the end of January 2020. The selection of the contractor is carried out in the form of a competition dialogue and its conclusion can be expected at the end of 2020.

### Bikoš tunnel

In July 2019, the construction of the R4 Prešov express highway, northern by-pass, stage No. I, commenced by ceremonial tapping the cornerstone. The 1155m long double-lane Bikoš tunnel (excavated full-face) will be part of the 4.3km long section of the express highway. Preparation work for the commencement of the tunnel excavation, excavation and stabilisation of the construction pit for the northern portal is still underway in the spring months of 2020. The excavation of the tunnel itself from the northern portal should proceed from the middle of May, after installation of the canopy tube pre-support. The work on the southern portal should begin in the spring. The contractor for the tunnel construction is a consortium comprising the companies of VÁHOSTAV – SK, a.s. and TuCon, a.s. The completion of the express highway and bringing it into service is expected in spring 2023.

*Ing. VLADIMÍR ĎURŠA, Dopřstav, a.s.,  
Ing. PETR HYBSKÝ, Metrostav a.s.,  
Slovak Tunnelling Association*

## ŽELEZNIČNÉ TUNELY DIEL A MILOCHOV

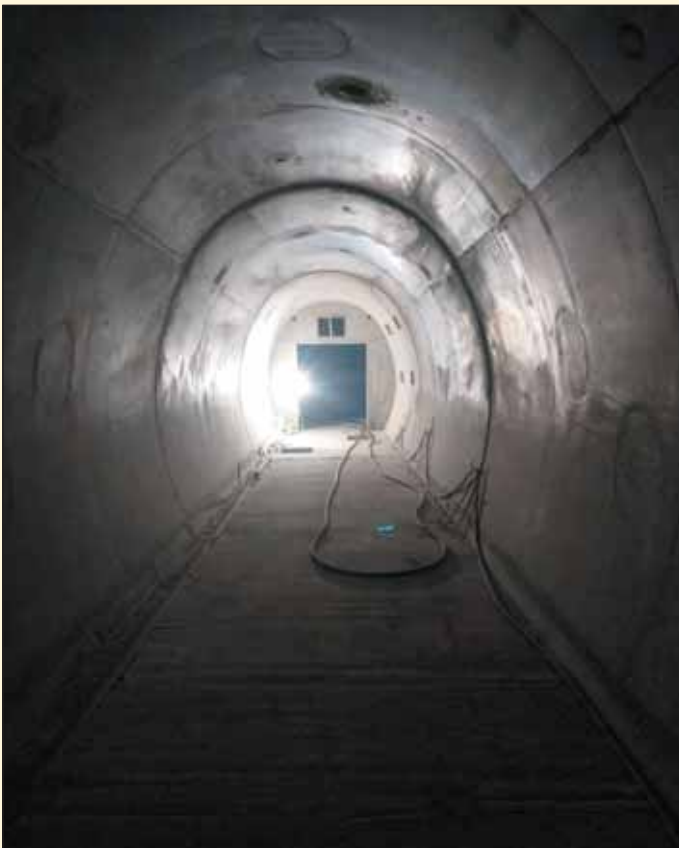
### Tunel Diel

Tunel Diel (obr. 6) prechádza masívom vrchu Diel, ktorý tvorí centrálnu časť meandru Váhu v oblasti Nosickej priehrady. Tunel je navrhnutý dĺžky 1082 m. Razenie tunela prebiehalo v masíve popod kúpele Nimnica. Západný portál je situovaný na okraji obce Nimnica, východný portál sa realizuje 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.

Dňom 26. 3. 2020 sa na stavbe tunela Diel skončili betonárske práce na sekundárnom ostení. Ako posledný sa zhotovil portálový blok únikovej štôľne. Zhotovené sú všetky káblovody a chodníky. Prebiehajú čistiace práce odvodňovacej sústavy a tmelia sa pracovné a dilatčné škáry. Stavebne je tunel pripravený na montáž technologického vybavenia. Medzi prvými prácami sa realizovali vrty pre konzoly na uchytenie trakčného vedenia do klenby tunela a rozvod požiarneho vodovodu. V káblovodoch sa začali zafahovať prvé silové káble.

V únikovej štôľni (obr. 7) sa realizujú priečky pre vzduchotechnickú komoru, ktorá je situovaná na začiatku štôľne od východného portálu a priečka pre požiarne dvere medzi únikovou štôľňou a tunelovou rúrou.

Na západnom portáli tunela sa buduje technologický domček, v ktorom budú umiestnené centrály pre všetku potrebnú technológiu na prevádzku tunela. Jednou z najzložitejších je automatická tlaková stanica (ATS), ktorá bude zabezpečovať funkčnosť požiarneho vodovodu pri havarijnej situácii. Okolo domčeka a samotného portálu tunela prebiehajú práce na konečných terénnych úpravách v podobe vystuženého svahu nad hĺbeným tunelom a obkladových gabiónov plnených sypaným kamenivom.



Obr. 7 Úniková štôľňa tunela Diel  
Fig. 7 Escape gallery of the Diel tunnel



Obr. 6 Konečné terénne úpravy – západný portál, tunel Diel  
Fig. 6 Final terrain finishes at the WP of the Diel tunnel

## DIEL AND MILOCHOV RAILWAY TUNNELS

### Diel Tunnel

The Diel tunnel (see Fig. 6) passes 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 (see Fig. 6) 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.

On 26<sup>th</sup> March 2020, concreting of the secondary lining of the Diel tunnel was finished. The portal block of the escape gallery was carried out last. All cable ducts and walkways have been finished. The work on cleaning the drainage system is underway and day joints and expansion joints are being sealed. The civil part of the tunnel is prepared for installation of tunnel equipment. Among the first operations, holes were drilled for fixing the catenary to the tunnel vault. The fire water distribution system has been completed. Pulling of first power cables into cable ducts has started.

In the escape gallery (see Fig. 7), dividing walls are being carried out for the ventilation chamber located at the beginning of the gallery and for a fire-check door between the escape gallery and the tunnel.

At the western portal of the tunnel, a service house is under construction. It will house centres for all equipment needed for the tunnel operation. The automatic water pressure booster pump station is one of the most complex ones. It will ensure functionality of the fire water supply system during an emergency situation. The work on final finishes in the form of a reinforced slope above the cut-and-cover tunnel and cladding gabions filled with aggregate is underway in the surroundings of the house and the tunnel portal itself.

A reinforced concrete frame of the service house with a smaller ground plan area than that at the west was built at the eastern portal. Work on the final terrain finishes began in the surroundings of the end of the escape gallery and the tunnel itself.

First train should pass through the tunnel at the end of September.





Obr. 8 Zakladanie hĺbeného tunela VP tunela – východný portál, Milochov  
Fig. 8 Foundation of the cut-and-cover tunnel at the EP of the Milochov tunnel

Na východnom portáli bol postavený železobetónový skelet technologického domčeka s menšou pôdorysnou plochou ako na západe. Rozbehli sa práce na konečných terénnych úpravách v okolí vyústenia únikovej štôlne aj samotného tunela.

Koncom septembra tohto roku by tunelom mal prejsť prvý vlak.

### Tunel Milochov

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

Raziace práce zo západného portálu sú ukončené. Vyrazených je 115 metrov v kalote a na celý profil tunela 105 metrov.

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 dňu 8. 4. 2020 bolo v kalote vyrazených 1335 metrov a v stupni, resp. dne 1260 metrov. Raziace práce boli z dôvodu obmedzenia pre šírenie COVID-19 a využívania pracovníkov z ČR od 15. 3. 2020 prerušené. Je možné, že prerážka tunela, ktorá bola odhadovaná na júl tohto roka, sa posunie.

Zvnútra tunela sa razí dovrchne úniková štôľňa. Práce prebiehajú vo vystrojovacej triede II, a a ku dňu 8. 4. 2020 je vyrazených 178 m, z celkovej dĺžky 266,4 m.

Na východnom portáli tunela prebiehajú práce na zakladaní hĺbenej časti (obr. 8), ktorá sa skladá so siedmich 10metrových blokov. Odstraňuje sa neúnosné podložie a nahrádza sa betónovým základom, na ktorom sa následne pomocou falošného primárneho ostenia zhotoví klenba hĺbeného tunela.

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.

### Milochov tunnel

The new Milochov tunnel is designed for overcoming the bottom of Stavná hill south of the municipal district of Horný Milochov of the town of Považská Bystrica. The tunnel length design amounts to 1861 metres. The tunnel will have one escape gallery ending in the municipality of Horný Milochov.

The excavation from the western portal has been finished. Excavation of 115 metres in the top heading and 105 metres of full-face excavation has been finished.

Excavation from the western portal continues by working at two levels, the top heading and bench with the bottom, so that the distance between them prescribed by the design for each excavation support class is not exceeded. As of today (8<sup>th</sup> April 2020), excavation of 1335m in the top heading, respectively 1260m in the bench has been finished. The excavation has been suspended since 15<sup>th</sup> March 2020 for the reason of restriction because of spreading of COVID-19 and using workers from the CR. It is possible that the tunnel breakthrough, which was expected in July 2020, will be postponed.

The escape gallery is being driven upward from the tunnel interior. The work is carried out in excavation support class II and, as of today, 178 metres of the total length of 266.4 metres have been finished.

At the eastern portal of the tunnel the work proceeds on foundation of the cut-and-cover part (see Fig. 8), which consists of seven 10 metres long blocks. Non-bearing sub-base is being removed and is being replaced by concrete foundation, on which the vault of the cut-and-cover tunnel will subsequently be carried out using a false primary lining.

The whole construction is carried out by the Nimnica consortium consisting of the companies of Doprastav – TSS Grade – SUBTERRA – EŽ Praha. The Diel tunnel is carried out by the company of TUBAU, a.s. and the Milochov tunnel by the company of Subterra a.s. The general designer for Železnice Slovenskej Republiky (Slovak Railways) is the company of REMING CONSULT a.s.

Ing. JÁN KUŠNÍR, REMING CONSULT a.s.

## Z HISTORIE PODZEMNÍCH STAVEB FROM THE HISTORY OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

### POHLEDNICE S TUNELY A S LOKOMOTIVAMI II PICTURE POSTCARDS WITH TUNNELS AND LOCOMOTIVES II

In the authors' collection, there is a number of interesting picture postcards from relatively recent times which were evidently issued first of all for admirers of locomotives and trains. These postcards are characterised by a sign for *locomotive*, *motor railcar* or a train set emerging from a tunnel portal. The currently presented package of ten postcards of this type presents here six tunnels in the CR, one in the SR and one in Lower Austria, thus it follows the similar part of this series titled "Picture postcards of tunnels in the Slovak and Czech Republics with locomotives", published in TUNEL journal issue No. 4/2015.

Ve sbírce autorů se nachází rovněž řada zajímavých pohlednic z relativně nedávné doby, které byly evidentně vydány především pro obdivovatele lokomotiv a vlaků. Pro tyto pohlednice je charakteristickým znakem lokomotiva, motorový vůz nebo vlaková souprava vyjíždějící z tunelového portálu. Aktuálně prezentovaný soubor desíti takovýchto pohlednic zde představuje šest tunelů v ČR a po jednom ve SR a v Dolním Rakousku a navazuje tak na podobný díl tohoto seriálu, nazvaný „Pohlednice s tunely ve Slovenské a České republice s lokomotivami“, otištěný v časopisu Tunel č. 4/2015.

#### Tunel Nelahozeveský I

Na tratovém úseku I. tranzitního železničního koridoru Praha – Děčín hl. n., mezi stanicí Kralupy n/V a zastávkou Nelahozeves,



**Obr. 1** T 669.0096 Dieselelektrická víceúčelová lokomotiva Co' Co'. Výrobek lokomotivky v Dubnici n. Váhom z roku 1968. Nakladatelství PressFoto Praha. Foto © Pavel Vančura. Cca 1975. [sbírka autorů]

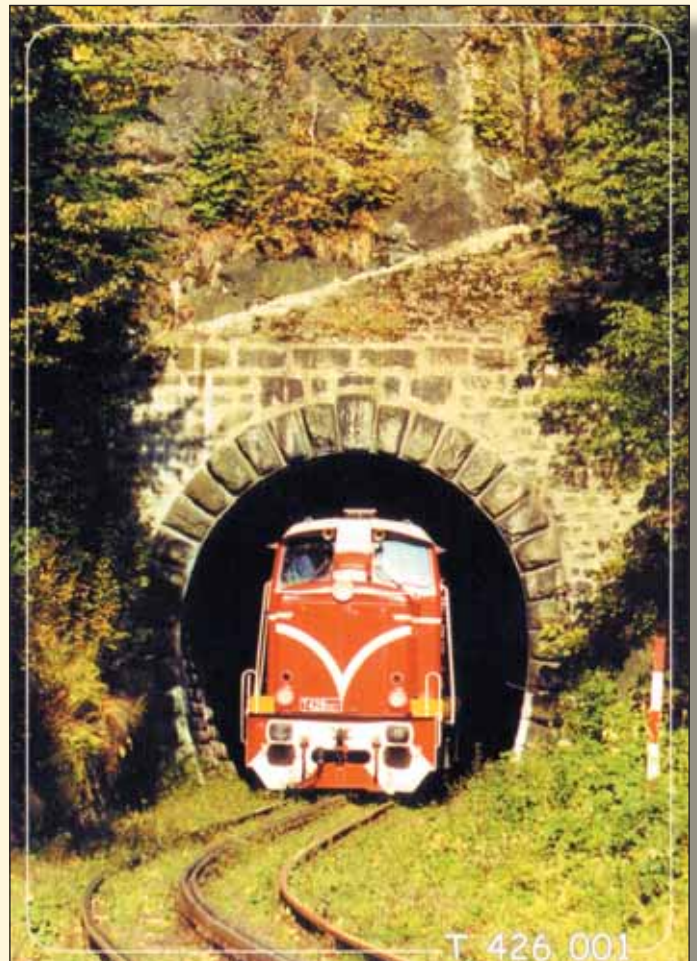
Lokomotiva vyjíždí z jižního portálu tunelu Nelahozeveského I. Stejný portál byl prezentován na obálce časopisu Tunel č. 4/2019. Průhledem tunelu je vidět další skalní portál těsně následujícího tunelu II. Souběžně a těsně s tunely vede po levém břehu Vltavy turisty hojně využívaná Dvořákova stezka (slavný hudební skladatel se narodil právě v Nelahozevsi).

**Fig. 1** T 669.0096 Diesel electric locomotive Co' Co'. Product of locomotive factory in Dubnica n. Váhom from 1968. Publishing house PressFoto Praha. Photo © Pavel Vančura. Ca 1975. [authors' collection]

The locomotive emerges from the southern portal of the Nelahozeves I tunnel. The same portal was presented on the cover of TUNEL journal issue No. 4/2019. Viewed through the tunnel there is another rock portal of the closely following tunnel No. II. The Dvořák Trail (the famous musical composer was born just in Nelahozeves) widely used by tourists, runs in parallel and close to the tunnels on the left bank of the Vltava River.

se nachází ve velmi těsném sledu trojice tunelů. Podle blízké zastávky jsou pojmenovány Nelahozeveský I (23,3 m), II (41,0 m) a III (291,0 m). Dokončeny byly již v roce 1848 a až do roku 1942 byly provozovány jako jednokolejné. V tomto roce proběhla jejich reprofilace se zdvoukolejněním. Dalšími úpravami, doplněnými o sanaci ostění, prošly tunely v souvislosti s elektrifikací trati v letech 1976 až 1985. Portály tunelů I (obr. 1) a II byly stavbou i pozdějšími úpravami ponechány přitom jen jako skalní.

Dnes je tunel Nelahozeveský I ještě pořád nejkratší v síti ČD. Je však vypracovaný projekt na zásadní rekonstrukci všech tří tunelů; ta by měla započít v roce 2024 a místní situaci výrazně pozměnit. [1]



**Obr. 2** Motorová ozubnicová lokomotiva T 426.001 vyjíždí s osobním vlakem 6351 ze Žďárského tunelu dne 30. 9. 2000. K-REPORT. Foto © Ing. Jan Vašíček. 2000. [sbírka autorů]

Velmi pravděpodobně jde o jižní (tanvaldský) portál Žďárského tunelu (obdobně jako na obr. 3).

**Fig. 2** Rack-type motor locomotive T 426.001 with passenger train 6351 emerges from the Žďár tunnel on 30<sup>th</sup> September 2000. K-REPORT. Photo © Ing. Jan Vašíček. 2000. [authors' collection]

It is very likely the southern (Tanvald) portal of the Žďár tunnel (like the tunnel in Fig. 3)



## Tunely na železniční trati Liberec – Tanvald – Harrachov

Úseky této jednokolejné regionální železnice byly otevírány postupně: do Jablonce n/N 1888, do Tanvaldu 1894, 1902 došlo k prodloužení tratě do Kořenova a na konci téhož roku byla trasa napojena na německé dráhy. V pasáži Tanvald – Kořenov byla trať vybavena dvojitou Abtovou ozubnicí. Po 2. světové válce bylo



**Obr. 3** Výročí 30 let Elektroniků – 743.002. Motorová lokomotiva 743.002 v čele osobního vlaku z Harrachova do Tanvaldu sjíždí dne 27. února 2000 poslední ozubnicový úsek mezi Desnou a Tanvaldem, a to již nedaleko cílové stanice tohoto vlaku. Ozubnicové hřeby v ose kolejnic jsou skryty pod vrstvou sněhu. © SURA s. r. o. Rokytnice nad Jizerou, foto: Karel Hanuš. 2000. [sbírka autorů]

Vlak vyjíždí z jižního (tanvaldského) portálu Žďárského tunelu (stejně jako na obr. 2).

**Fig. 3** 30 years anniversary of Elektroniks – 743.002. Motor locomotive 743.002 at the head of passenger train from Harrachov to Tanvald running down the rack section between Desná and Tanvald on 27<sup>th</sup> February 2000, already near the destination station of this train. The racks are located in the centre between rails. They are hidden under a layer of snow. © SURA s. r. o. Rokytnice nad Jizerou, photo: Karel Hanuš. 2000. [authors' collection] Train emerging from the southern (Tanvald) portal of the Žďár tunnel (like in Fig. 2).



**Obr. 4** Ozubnicová trať Tanvald – Kořenov – Harrachov, Motorový vůz 810.260 na ozubnicovém úseku pod Dolním Polubným. K-REPORT. Foto © Jan Vašíček. 1999. [sbírka autorů]

Jihozápadní portál Dolnopolubenského tunelu od zastávky Desná – Riedlova vila (stejně jako na obr. 5).

**Fig. 4** Rack and pinion track Tanvald – Kořenov – Harrachov. Motor car 810.260 on the rack section under Dolní Polubný. K-REPORT. Photo © Jan Vašíček. 1999. [authors' collection] South western portal of the Dolní Polubný tunnel from the Desná – Riedlova Vila intermediate station (like in Fig. 5).

propojení do Německa zrušeno. Od 80. let 20. stol. byl běžný provoz na ozubnicovém úseku změněn jen na adhezní a ozubnicové lokomotivy vyjíždějí pouze příležitostně.

Na této železnici se nachází celkem 10 tunelů celkové délky 2 392 m. Nejkratší z nich je Dolnotanvaldský (48 m) a nejdelší pak Polubenský (940 m). [2, 3]

### • Tunel Žďárský (obr. 2 a 3)

Byl zprovozněn roku 1902 a je dlouhý 67,2 m. Nachází se mezi železniční stanicí Tanvald a zastávkou Desná.

### • Tunel Dolnopolubenský (obr. 4 a 5)

Byl zprovozněn rovněž v roce 1902 a je dlouhý 166,3 m. Nachází se mezi zastávkami Desná – Riedlova vila a Dolní Polubný.



**Obr. 5** Motorový vůz M 240.021, známý pod přezdívkou „Singrovka“, zachytil fotograf pod Dolnopolubenským tunelem nedaleko hrobky sklářské rodiny Riedlů. Motorové vozy tohoto typu jezdily na zubačce od roku 1965. Železniční společnost Tanvald, o.p.s., foto Ing. Jan Vašíček. Okolo 2000. [sbírka autorů]

Jihozápadní portál Dolnopolubenského tunelu od zastávky Desná – Riedlova vila (stejně na obr. 4).

**Fig. 5** Motor car M 240.021, known under nickname „Singrovka“, captured by a photographer under the Dolní Polubný tunnel near the burial chamber of the glassmaking family of the Riedls. Motor cars of this type travelled on the rack track from 1965. Railway Company Tanvald, o.p.s., photo Ing. Jan Vašíček. About 2000. [authors' collection]

South western portal of the Dolní Polubný tunnel from Desná – Riedlova Vila intermediate station (like in Fig. 4).

## Tunel Ještědský

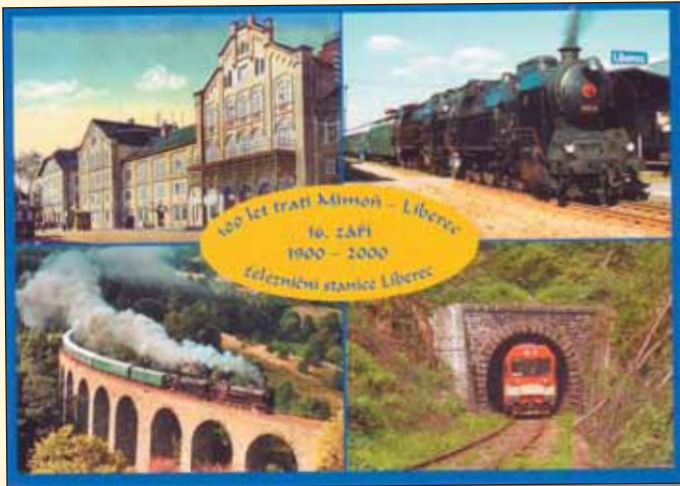
Jednokolejný Ještědský tunel se nachází na železniční trati Liberec – Česká Lípa, mezi stanicemi Novina a Křižany. Byl budován od roku 1898 Společností ústecko-teplické dráhy pro dopravu severočeského uhlí do Liberecka, se zahájením provozu 16. 9. 1900. Mezi Křižany a Libercem bylo na předmětné dráze postaveno celkem 5 tunelů – 4 krátké a 1 dlouhý – a to právě Ještědský, 815,44 m – obr. 6. Ten, mimo jiné, překonává v Křižanském sedle, ve výšce 500 m n. m., hlavní rozvodí Severního a Baltského moře. [4, 5]

## Tunel Ledčský II

Populární název „Horní posázavský pacifik“ nese jednokolejná neelektrifikovaná regionální železniční trať z Čerčan do Světlé n/S, charakteristicky trasovaná podél řeky Sázavy v délce 91 km. Na její první části byl provoz zahájen roku 1903, na zbývající poté o dva roky později.

Mezi železničními stanicemi Sázava a Horní Ledč se na trati nachází osm krátkých tunelů celkové délky 869 m – od 30 m (Hornoledečský) do 251 m (Podhradský).





Obr. 6 100 let trati Mimoň – Liberec, železniční stanice Liberec. 16. září 1900 – 2000

1 – Nádraží Liberec v roce 1919.

2 – 464.008 a 464.102 ve stanici Liberec (1997).

3 – Lokomotivy 464.008 a 464.102 na viaduktu u Noviny (1997).

4 – 843.008-4 Křižany (tunel 815 m).

Okénková pohlednice. Vydavatelství M. SOUKUP, Desná v Jíz. horách.

Snímky: 1 – ŽST Liberec. 2, 3 – Petr David. 4 – Miroslav Soukup. 2000. [sbírka autorů]

V pravém spodním okénku pohlednice vyjíždí lokomotiva ze severního (libereckého) portálu Ještědského tunelu směrem k viaduktu Novina (vedlejší okénko).

Fig. 6 100 year anniversary of Mimoň – Liberec track, Liberec railway station. 16<sup>th</sup> September 1900 – 2000

1 – Liberec railway station in 1919.

2 – The 464.008 and 464.102 in Liberec railway station (1997).

3 – Locomotives 464.008 and 464.102 on the viaduct near Novina (1997).

4 – 843.008-4 Křižany tunnel (815m).

Window postcard. M. SOUKUP Publishing house, Desná v Jíz. horách.

Pictures: 1 – Liberec railway station. 2, 3 – Petr David. 4 – Miroslav Soukup. 2000. [authors' collection]

In the right-hand lower window of the postcard, a locomotive emerges from the northern (Liberec) portal of the Ještěd tunnel, heading towards the Novina viaduct (side window).



Obr. 7 720.116 (ČSD), Sázava, 10. 6. 1990 Posázavský Pacifik. Foto: Karel Pryl. Tisk: RETIP s. r. o., Červený Kostelec. 1990. [sbírka autorů]

Na pohlednici vyjíždí krátká vlaková souprava ze severovýchodního (sázavského) portálu tunelu Ledecského II. Železnice zde typicky vede v úzkém údolí řeky Sázavy (vlevo).

Fig. 7 720.116 (Czech Railways), Sázava, 10<sup>th</sup> June 1990 Posázavský Pacifik train. Photo: Karel Pryl. Press: RETIP s. r. o., Červený Kostelec. 1990. [authors' collection]

On the postcard, a short train set emerges from the north eastern (Sázava) portal of the Ledec II tunnel. The rail track runs typically along a narrow valley of the Sázava River (left).

V pořadí druhý z nich, a to mezi železniční stanicí Sázava a zastávkou Samopše, se nachází tunel Ledecský II, délky 54 m – obr. 7. [6]

### Tunel Hněvkovský II

Na rekonstruovaném úseku III. železničního koridoru Zábřeh n/M – Hoštejn se nacházejí dva „nové“ tunely, pojmenované podle blízké obce Hněvkovský I a II. Tunel Hněvkovský I délky 180 m byl stavěn v letech 2005–2006, stavba tunelu Hněvkovského II (obr. 8) délky 461,85 m probíhala v letech 2004–2006. [7]



Obr. 8 Elektrická jednotka 680.001 nasazená 2. října 2015 na spoj SuperCity 506 Pendolino mezi stanicemi Zábřeh na Moravě a Hoštejn Chornický železniční klub. © FOTO: Pavel Stejskal. 2015. [sbírka autorů]

Dynamický snímek se soupravou Pendolino, která vyjíždí ze západního (hoštejnského) portálu tunelu Hněvkovského II.

Fig. 8 Electric unit 680.001 deployed on 2<sup>nd</sup> October 2015 to SuperCity 506 Pendolino link between railway stations Zábřeh na Moravě and Hoštejn. Cornice railway club. © PHOTO: Pavel Stejskal. 2015. [authors' collection]

The dynamic picture with Pendolino train set emerging from the western (Hoštejn) portal of the Hněvkov II tunnel.



Obr. 9 Historická parní lokomotiva 475.196 vyjíždí z Bratislavského tunelu – nejstaršího na Slovensku (1848). Vydalo ŘŽ SR v agentúre LUBA FOTOPRES Spišská Nová Ves. Snímka L. Jiroušek. 1994. [sbírka autorů]

Na pohlednici s historickou lokomotivou je vidět společný bratislavský (východní) portál Lamačských tunelů I a II.

Fig. 9 Historic steam locomotive 475.196 emerging from the Bratislava tunnel – the oldest tunnel in Slovakia (1848). Issued by the Directorate of Slovak Railways in LUBA FOTOPRES, Spišská Nová Ves agency. Photo L. Jiroušek. 1994. [authors' collection]

The common Bratislava (eastern) portal of the Lamač I and II tunnels is shown on the picture postcard with a historic locomotive.



## Slovenská republika – tunel Lamačský I

Dvě pohlednice s „Bratislavskými“, dnes správně Lamačskými, tunely byly v tomto seriálu prezentovány již v Tunelu č. 4/2015. Pro stručné zopakování:

Lamačský tunel č. I (na obr. 9 právě z něj vyjíždí vlak), bývá označován též jako „starý“. Byl vybudován v letech 1844 až 1848 během výstavby trati Vídeň – Bratislava. Sloužil vlakům do Bratislavy i do Devínskej Novej Vsi, a to oběma směry jako dvoukolejný až do roku 1902, tj. do doby, kdy byl zahájen provoz souběžným tzv. „novým“ tunelem Lamačským II (na obr. 9 je vpravo, zcela zakrytý vlakem). Původní tunel délky 703,60 m byl mezi lety 1899 až 1900 zkrácený na 594 m a při prodlužování hlavního nádraží byl také zjednotěn.



Obr. 10 Parní lokomotiva č. 298.206 před tunelem Bruderndorf. Lokomotiva byla renovovaná podle původních plánů. Standardně je vystavená na trhovém náměstí v Langschlagu v Dolních Rakousích. HHA. Okolo 1980. [sbírka autorů]

Lokomotiva vyjíždí ze západního portálu tunelu Velký Bruderndorf a směřuje tak k železniční zastávce Bruderndorf.

Fig. 10 Steam locomotive No. 298.206 in front of the Bruderndorf tunnel. The locomotive was renovated according to the original plans. It is exhibited, as a standard, on the market square in Langschlagu, Lower Austria. HHA. About 1980. [authors' collection]

The locomotive emerges from the western portal of the Velký Bruderndorf tunnel and is heading towards Bruderndorf intermediate station.

Lamačský tunel č. II (tzv. „nový“) byl ve stavbě od 15. 12. 1900 do konce září 1902, má délku 595,61 m a je rovněž jednokolejný.

## Dolní Rakousy – tunel Bruderndorfer

Waldviertelské úzkorozchodné dráhy (Waldviertler Schmalspurbahnen) jsou sítí tří železnic rozchodu 760 mm, se základním bodem v dolnorakouském Gmündu.

V roce 1900 byl zahájen provoz na severní větvi do Litschau (délka 25 km). Roku 1902 byla otevřená první část technicky náročnější jižní tratě a v roce 1903 pak dosáhla jižní větev cílové stanice Groß Gerungs (konečná délka trati 43 km). Zde také najdeme zdejší jediné železniční tunely – Malý a Velký Bruderndorfský (Kleiner und Großer Bruderndorfer – obr. 10) délky 44 a 262 m.

Po rozdělení Gmündu na českou (České Velenice) a rakouskou část (Gmünd) v roce 1919 se nádraží úzkorozchodné dráhy ocitlo na české straně. 20. 1. 1922 zahájilo po přestavbě původní zastávky provoz nádraží v Gmündu a úzkorozchodné dráhy od té doby vycházejí právě odtud.

Od roku 1986 se tyto dráhy potýkaly s existenčními problémy, a proto ÖBB v roce 2001 ukončily provoz. V témže roce je nahradil dopravce NÖVOG. Tím skončily poslední pravidelné osobní vlaky do Groß Gerungs a úzkorozchodné dráhy jezdí jako turistická atrakce pouze v sezónním režimu.

Partnerskou úzkorozchodnou drahou jsou Jindřichohradecké místní dráhy. Existuje plán na kolejové propojení obou železnic. [8, 9]

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

**Poděkování:** Článek byl vytvořen v rámci řešení projektu č. LO1408 „AdMaS UP – Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie“ podporovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu „Národní program udržitelnosti I“ a projektu č. TE01020168 „Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI)“ podporovaného z programu Centra kompetence Technologické agentury České republiky (TAČR).

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] STŘIŽÍK, J., JADRNÍČEK, K. Rekonstrukce Nelahozeveských tunelů. *Tunel*, 2019, roč. 28, č. 4, s. 21–28
- [2] Železniční trať Liberec – Tanvald – Harrachov [online]. [cit. 2020-03-22]. Dostupné na internetu <[https://cs.wikipedia.org/wiki/Železniční\\_trať\\_Liberec\\_-\\_Tanvald\\_-\\_Harrachov](https://cs.wikipedia.org/wiki/Železniční_trať_Liberec_-_Tanvald_-_Harrachov)>
- [3] Trať 036 – Liberec – Smržovka – Tanvald – Harrachov [cit. 2020-03-22]. Dostupné na internetu <<http://www.vlakregion.cz/trate/036/036.html>>
- [4] Seznam železničních tunelů v Česku [cit. 2020-03-22]. Dostupné na internetu <[https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam\\_železničních\\_tunelů\\_v\\_Česku](https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_železničních_tunelů_v_Česku)>
- [5] Ještědský tunel [cit. 2020-03-22]. Dostupné na internetu <[https://search.seznam.cz/?q=Je%C5%A1t%C4%9Bdsk%C3%BD+tunel&oq=Je%C5%A1t%C4%9Bdsk%C3%BD+tunel&aq=-1&sourceid=top&sid=YcOv42tGUnQQh8fznePM&sgId=Tm9uZSAxNTg0Nzg0Nzk3LjU0OQ%3D%3D&overlay\\_type=portfolio&overlay\\_id=card](https://search.seznam.cz/?q=Je%C5%A1t%C4%9Bdsk%C3%BD+tunel&oq=Je%C5%A1t%C4%9Bdsk%C3%BD+tunel&aq=-1&sourceid=top&sid=YcOv42tGUnQQh8fznePM&sgId=Tm9uZSAxNTg0Nzg0Nzk3LjU0OQ%3D%3D&overlay_type=portfolio&overlay_id=card)>
- [6] Železniční trať Čerčany – Světlá nad Sázavou [cit. 2020-03-22]. Dostupné na internetu <[https://cs.wikipedia.org/wiki/Železniční\\_trať\\_Čerčany\\_-\\_Světlá\\_nad\\_Sázavou](https://cs.wikipedia.org/wiki/Železniční_trať_Čerčany_-_Světlá_nad_Sázavou)>
- [7] Hněvkovský tunel II [cit. 2020-03-22]. Dostupné na internetu <[https://cs.wikipedia.org/wiki/Hněvkovský\\_tunel\\_II](https://cs.wikipedia.org/wiki/Hněvkovský_tunel_II)>
- [8] Waldviertler Schmalspurbahnen [cit. 2020-03-22]. Dostupné na internetu <[https://de.wikipedia.org/wiki/Waldviertler\\_Schmalspurbahnen](https://de.wikipedia.org/wiki/Waldviertler_Schmalspurbahnen)>
- [9] Waldviertelská železnice [cit. 2020-03-22]. Dostupné na internetu <[https://cs.wikipedia.org/wiki/Waldviertelská\\_železnice](https://cs.wikipedia.org/wiki/Waldviertelská_železnice)>

## VÝROČÍ ANNIVERSARIES

## BLAHOPŘEJEME ING. JINDŘICHU HESSOVI, PH.D. K OSMDESÁTINÁM CONGRATULATIONS TO ING. JINDŘICH HESS PHD. TO THE EIGHTIETH BIRTHDAY

Dne 13. května 2020 oslaví své osmdesáté narozeniny nepřehlédnutelná osobnost našeho podzemního stavitelství, zakládající člen Československého tunelářského komitétu ITA-AITES a jeho první a dlouholetý předseda Ing. Jindřich Hess, Ph.D. Ve svém profesním životě, který byl, a stále je, nedílně spjat s akciovou společností Metrostav, se významně zasloužil nejen o výstavbu pražského metra, ale také o další rozkvět česko-slovenského tunelářství a zvýšení jeho prestiže ve světě. Svě přátele a spolupracovníky si dokázal vždy získat svou neúnávností, pracovitostí a nadšením neznajícím překážky.



Jindřich Hess se narodil v Praze 13. 5. 1940. Studium oboru inženýrského stavitelství úspěšně absolvoval v roce 1963 na Stavební fakultě ČVUT Praha, jehož součástí byl také studijní pobyt na Institutu stavebních věd v Rusku. Tam se mu naskytla také příležitost k prohloubení znalosti ruštiny, která se mu později stala neocenitelnou výhodou především v počáteční fázi výstavby pražského metra při přejímání odborných zkušeností z výstavby moskevského metra od ruských expertů.

Svou stavařskou dráhu zahájil Ing. Hess v roce 1964 v národním podniku Vodní stavby, které po přijetí rozhodnutí o výstavbě pražské podzemní dráhy získaly statut jejího generálního dodavatele. Tak mohl být u samého zrodu velkolepé stavby, která jej poté provázela po celou dobu jeho profesní kariéry. Jako stavbyvedoucí řídil montáž a nasazení prvního nemechanizovaného razicího štítu u nás na trase C na pražské Pankráci. S dalším rozvojem výstavby metra bylo rozhodnuto o delimitaci a vyčlenění národního podniku Metrostav z Vodních staveb.

Tento přerod se stal velkou výzvou i příležitostí pro mladého zapáleného inženýra, jehož celý další profesní život probíhal již v dresu Metrostavu. V sedmdesátých letech Ing. Hess úspěšně řídil ražbu tunelů metra pod Vltavou na trase A, kde byl poprvé nasazen ruský mechanizovaný razicí štít. Díky svým výrazným řídicím a organizačním schopnostem pokračoval jeho profesní růst jmenováním do pozice zástupce vedoucího provozní jednotky a s ohledem na svou vysokou technickou erudici se stal v roce 1977 technickým náměstkem Metrostavu. Poté, kdy od roku 1984 prokázal své řídicí schopnosti na pozici výrobního náměstka, byl v roce 1988 zvolen ředitelem státního podniku Metrostav.

Blížící se převratné historické události byly prověrkou jeho strategického rozhledu z kapitánského můstku a úspěšného kormidlování vlajkové lodi Metrostavu na rozbouřených vodách přechodu k tržnímu hospodářství. I v této zkoušce obstál na výtečnou, když spolu se svými nejbližšími spolupracovníky zvládl úspěšnou transformaci Metrostavu na významnou akciovou společnost spolu s nasměrováním kormidla také do dalších stavebních segmentů mimo podzemní stavitelství. Tak opět potvrdil

On 13<sup>th</sup> May 2020, Ing. Jindřich Hess, Ph.D., an unmistakable figure of our underground construction, a founding member of the ITA-AITES Czechoslovak Tunnelling Committee and its first and long-standing chairman, will celebrate his eightieth birthday. In his professional life, which was and still is inseparably associated with Metrostav joint stock company, he significantly contributed not only to the development of the Prague metro, but also to further blooming of Czechoslovak tunnel construction industry and increasing its prestige in the world. He always managed to win his friends and collaborators by his tirelessness, diligence and enthusiasm knowing no obstacles.

Jindřich Hess was born in Prague on 13<sup>th</sup> May 1940. He successfully graduated from the Civil Engineering Faculty of the Czech Technical University in Prague with a degree in civil engineering in 1963. Part of the study was a study stay at the Institute of Civil Engineering Sciences in Russia. There he also had the opportunity to deepen his knowledge of Russian, which later became an invaluable advantage, especially in the initial phase of construction of the Prague metro while taking on the expertise of the construction of the Moscow metro from Russian experts.

Ing. Hess started his construction career in 1964 in Vodní stavby, national enterprise, which obtained the statute of the general contractor for the construction of the Prague metro after the acceptance of the decision on development of the project. He, therefore, could stand at the very birth of the magnificent project, which then accompanied him throughout his professional career. As a site manager he managed the assembly and mobilisation of the first non-mechanised tunnelling shield in our country on Line C at the Prague district of Pankrác. With the further development of the metro construction, a decision was made on delimitation of Metrostav from Vodní stavby.

This transformation became a great challenge and even an opportunity for the young enthusiastic engineer, the entire professional life of whom was already in the Metrostav dress. In the 1970s, Ing. Hess successfully managed the excavation of tunnels under the Vltava River on the metro Line A, where a Russian mechanised tunnelling shield was employed for the first time. Thanks to his considerable management skills his professional growth continued by his appointment into the position of Deputy Head of an operating unit and, with respect to his high technical erudition, he became the Deputy Chief Technical Officer of Metrostav in 1977. Subsequently, after proving his managerial skills in the position of deputy technical officer from 1984, he was elected the Chief Executive Officer of Metrostav state enterprise.

The upcoming revolutionary historical events were a test of his strategic outlook from the captain's bridge and the successful steering of the Metrostav flagship on the stormy waters of the transition to a market economy. Even in this test he succeeded excellently, when, together with his closest collaborators he managed to successfully transform Metrostav into a major joint-stock company along with directing the helm also to other construction segments outside the underground construction. Thus he reaffirmed his extraordinary



své mimořádné schopnosti a byl v roce 1991 jednohlasně zvolen generálním ředitelem a předsedou představenstva Metrostavu a.s.

Z pozice generálního ředitele Ing. Hess na vlastní žádost odstoupil v říjnu 2010 a dále aktivně působil ve společnosti v řadě vysokých funkcí včetně funkce předsedy představenstva a předsedy dozorčí rady. V současnosti působí ve společnosti ve funkci předsedy dozorčí rady a ve skupině DDM Group je členem správní rady.

Neméně výraznou stopu zanechal Ing. Hess nejen v České tunelářské asociaci ITA-AITES, ale také ve světové ITA-AITES. S ohledem na své bohaté odborné zkušenosti si byl dobře vědom, že spolupráce zahraničních odborníků je nezbytným předpokladem dalšího rozvoje profese, které zasvětil svůj život. Stal se zakládajícím členem tehdy Československého tunelářského komitétu ITA-AITES (rok 1982) a jeho prvním a dlouholetým předsedou. Poté, co aktivně působil v pracovní skupině ITA (WG), byl zvolen do exekutivy ITA a v roce 1998 jejím viceprezidentem. Významně se zasloužil o šíření dobrého jména českého podzemního stavitelství v zahraničí a svůj vliv využil také pro získání pořadatelsví úspěšného světového tunelářského kongresu WTC 2007 v Praze.

Ing. Hess ukončil svou činnost ve funkci předsedy CzTA ITA-AITES na základě svého vlastního rozhodnutí k 31. prosinci 2003. Asociace jeho zásluhy ocenila v roce 2004 udělením čestného členství a později i předáním pamětní medaile.

Nelze však opomenout, že Ing. Hess zastával i řadu dalších významných funkcí. Byl mj. místopředsedou Hospodářské komory hl. m. Prahy, členem vědecké rady Stavební fakulty ČVUT a členem Správní rady ČVUT a vědecké rady Podnikohospodářské fakulty VŠE v Praze.

Jménem předsednictva České tunelářské asociace ITA-AITES i za kolegy z Metrostavu přeji Ing. Hessovi především pevné zdraví, neutuchající vitalitu a radostné rodinné zázemí.

*Ing. IVAN HRDINA,  
předseda CzTA ITA-AITES,  
Metrostav a.s.*

## ŽIVOTNÍ JUBILEUM ING. JIŘÍHO POKORNÉHO ANNIVERSARY OF ING. JIŘÍ POKORNÝ LIFE

Ing. Jiří Pokorný se narodil 29. 7. 1940. Po absolvování Stavební fakulty ČVUT, obor konstrukce a dopravní stavby, pracoval od r. 1966 na kolejových stavbách v podniku Stavby silnic a železnic. Po šesti letech přešel do investorské složky Českých drah – Správy přestavby železničního uzlu Praha, kde pracoval na železničních stavbách vč. tunelu pod Bílou skálou v Praze Libni.

Zkušenosti, které získal při realizaci železničních tunelů a ostatních staveb na železnici, se rozhodl uplatnit při projektování a výstavbě pražského metra. Od roku 1979 pracoval v projektové organizaci DP METROPROJEKT v pozici hlavního inženýra projektu staveb pražského met-



abilities and was unanimously elected CEO and Chairman of the Board of Directors of Metrostav joint stock company.

Ing. Hess resigned from the position of CEO at his own request in October 2010 and continued to be active in a number of senior positions, including the position of Chairman of the Board of Directors and Chairman of the Supervisory Board. At present he works in the company as Chairman of the Supervisory Board and, in the DDM Group, he is a member of the Management Board.

No less significant trace Ing. Hess left not only in the ITA-AITES Czech Tunnelling Association, but also in the worldwide ITA-AITES. In view of his extensive professional experience, he was well aware that the cooperation of foreign experts was a prerequisite for the further development of the profession he had dedicated his life to. He became a founding member of the then ITA-AITES Czechoslovak Tunnelling Committee (1982) and his first and long-term chairman. After actively working in an ITA Working Group (WG) he was elected into the ITA executive and, in 1998, he became its Deputy President. He significantly contributed to spreading the reputation of the Czech underground construction abroad and used his influence to obtain the organization of the successful World Tunnel Congress WTC 2007 in Prague.

Ing. Hess ceased his function as chairman of the ITA-AITES CzTA on the basis of his own decision as at 31<sup>st</sup> December 2003. In 2004, the Association appreciated his merit by awarding an honorary membership and later also by awarding a commemorative medal.

However, it should not be forgotten that Ing. Hess also held a number of other important functions. He was, among others, Vice-Chairman of the Prague Chamber of Commerce, a member of the Scientific Board of the Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University in Prague and a member of its Management Board, and a member of the Scientific Board of the Faculty of Business Administration VŠE in Prague.

On behalf of the Board of the ITA-AITES Czech Tunnelling Association and colleagues from Metrostav I wish Ing. Hess first of all great health, constant vitality and happy family background.

*Ing. IVAN HRDINA,  
Chairman of the ITA-AITES CzTA,  
Metrostav a.s.*

Ing. Jiří Pokorný was born on 29<sup>th</sup> July 1940. After graduating from the Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University in Prague with a degree in Civil Engineering he worked from 1966 on railway projects with the company of Stavby silnic a Železnic (Road and Railway Construction). After six years he left to the investment unit of České Dráhy (Czech Railways) – Správa Přestavby Železničního Uzlu Praha (Administration of reconstruction of Prague railway junction), where he worked on railway construction projects including the Bílá Skála tunnel in the district of Libeň, Prague.

He decided to apply the experience he gathered during the construction of railway tunnels and other projects on railways to designing and construction of the Prague metro. From 1979 he worked in DP METROPROJEKT designing organisation in the position of chief engineer for the Prague metro construction project. He was in charge, for example, the design for section IIB,

ra. Řídil např. projekt úseku II.B Florenc – Českomoravská, který byl úspěšně zkolaudován a otevřen pro provoz s cestujícími v roce 1990.

Po roce 1989 Metroprojekt vystoupil z organizační struktury Dopravního podniku hl. m. Prahy a na krátkou dobu se stal státním podnikem. Při privatizaci byl transformován na akciovou společnost a jeho majoritním vlastníkem se stala firma Cimex z Karlových Varů. V roce 1996 se METROPROJEKT Praha stal dceřinou společností SUDOP GROUP a.s. a od tohoto momentu se stal Jiří Pokorný generálním ředitelem společnosti. Tuto pozici zastával do roku 2009 a za jeho vedení se Metroprojekt stal významnou projektovou a konzultační firmou v oboru městské dopravy a podzemního stavitelství a rozšířil spektrum své činnosti i na obory železničních staveb, pozemních staveb, speciálních technologií a další, a to jak v celé ČR, tak příležitostně i v zahraničí.

Jiří Pokorný během své více než padesátileté praxe pravidelně udivoval své okolí energií a životním optimismem. Vždy dokázal své spolupracovníky nadchnout, žádný problém pro něj nebyl neřešitelný. Největší část své profesní dráhy věnoval projektové přípravě staveb, zejména dopravních. Mezi nejrozsáhlejší projekty, kde zanechal svou stopu inženýra a posléze ředitele, patřila příprava tras metra v Praze, rekonstrukce úseků evropských železničních koridorů, modernizace tramvajových tratí, stavby dálničních a železničních tunelů. Mezi další velké projekty řady pozemních staveb lze uvést Aquapark v Čestlicích, revitalizaci areálu Národní knihovny v Klementinu, rekonstrukci budovy Českého rozhlasu na Vinohradech, nové haly žst. Praha hlavní nádraží a mnoho dalších staveb.

METROPROJEKT sídlil po celou dobu působení Jiřího Pokorného na náměstí I. P. Pavlova v Praze 2. V srpnu 2019 se přestěhoval do nové budovy AOB v Argentinské ul. v Praze 7. Jiří Pokorný v této době ze zdravotních důvodů ukončil svou bohatou pracovní činnost v Metroprojektu. Významné životní jubileum zastihuje Jiřího Pokorného na zaslouženém odpočinku. Je mi potěšením, že mohu jménem všech spolupracovníků a vás čtenářů časopisu Tunel popřát našemu oslavenci hlavně hodně pevné zdraví a plno životní energie do dalších let.

*Ing. MIROSLAV NOVÁK*

Florenc – Českomoravská, which was successfully passed the final inspection and was brought into passenger service in 1990.

After 1989, METROPROJEKT got out of the organisational structure of Dopravní podnik hl. m. Prahy (Prague Public Transit Company) and became for a short time a state-owned company. During privatisation, it was transformed into a joint stock company and the company of Cimex from Karlovy Vary became its his majority owner. In 1996 METROPROJEKT Praha became a branch of SUDOP GROUP a.s. and from this moment Ing. Jiří Pokorný became Chief Executive Officer of the company. He held this position until 2009 and, under his management, METROPROJEKT became an important designing and consulting firm in the field of urban transport and underground construction and expanded the spectrum of its activities to railway construction, building, special technologies and others, both in the whole ČR and occasionally also abroad.

During more of fifty years of his practice, Jiří Pokorný continued to amazed the surroundings with his vigour and life optimism. He always managed to grip his collaborators; no problem was unsolvable for him. He devoted the largest part of his professional career to preparation of design for construction projects, first of all transport ones. Among the most extensive projects, where he left his mark as an engineer and later director, was the preparation of metro lines in Prague, reconstruction of sections of European railway corridors, modernisation of tram tracks, construction of motorway and railway tunnels. Among other large designs for numerous building projects, it is possible to mention Aquapark in Čestlice, revitalisation of the National Library grounds in Klementinum, reconstruction of the building of Český Rozhlas (Czech Radio) in Vinohrady, the new hall of the Praha Hlavní Nádraží railway station and many other projects.

METROPROJEKT was housed in the entire period of Jiří Pokorný's work on I. P. Pavlova Square in Prague 2. In August 2019, it moved to a new building, AOB in Argentinská Street in Prague 7. At that time Jiří Pokorný finished his rich work activity in METROPROJEKT for health reasons. The significant life anniversary marks Jiří Pokorný on a well-deserved rest. I am pleased that I can on behalf of all co-workers and you, TUNEL readers, congratulate our "birthday boy" and wish him especially a lot of good health and lot of life energy in the coming years.

*Ing. MIROSLAV NOVÁK*

## ROZLOUČENÍ LAST FAREWELL

### ODEŠEL ING. MILAN KREJCAR ING. MILAN KREJCAR'S DEPARTURE

V této nelehké době navždy opustil ve věku 78 let naši tunelářskou komunitu její dlouholetý příslušník, můj dobrý přítel, Ing. Milan Krejcar. Byl aktivním členem CzTA, v redakční radě časopisu Tunel působil hned po jeho založení v roce 1992, předtím byl častým přispěvatelem do Zpravodaje Metro, který byl předchůdcem našeho stávajícího časopisu. Opakovaně pracoval v přípravě



In this hard time, Ing. Milan Krejcar, my good friend, a long-standing member of our tunnelling community, left us forever at the age of 78. He was an active member of the CzTA, acting in the editorial board of TUNEL journal just from its establishment in 1992, frequently contributing to the predecessor of our current journal, Metro News Magazine. He repeatedly worked in steering committees of the Underground Construction Prague conferences, regularly participated in the General Assemblies and the Tunnel Afternoon events. His interest in activities of the CzTA did not leave him even later, at the time of well-deserved rest.



ných výborech národních konferencí Podzemní stavby Praha, pravidelně se účastnil valných shromáždění a tunelářských odpolední. Zájem o činnost CzTA ho neopustil ani později, v době zaslouženého odpočinku.

Svoje profesní působení z počátku věnoval inženýrskogeologickému průzkumu pro podzemní stavby, což odpovídalo jeho dlouholetému zájmu i vzdělání (absolvoval střední průmyslovou školu hornickou a geologickou). Ve firmách Sudop a Metroprojekt pracoval na projektech řady významných staveb, např. dálnice D1 v úseku Benešov – Zruč nad Sázavou, železnice Diviaky – Bánská Bystrica, Hranice na Moravě – Valašské Meziříčí a Trmice – Bílina.

Podílel se i na přípravě pražského metra, v 70. letech minulého století na Federálním ministerstvu dopravy zajišťoval projektovou dokumentaci pro výstavbu dálničních tunelů na Slovensku. Jako hlavní technolog již zaniklých Vojenských staveb spolupracoval na projektu a přípravě dostavby III. vinohradského železničního tunelu v Praze, přičemž využil zkušeností z výstavby metra prstencovou metodou (dostavba byla realizována dvěma jednokolejnými tunely s ostěním z železobetonových segmentů). Po návratu z dlouhodobé stáže na podzemních stavbách v Japonsku dále působil v našem oboru. V závěru své profesní kariéry působil na stavbě železničního tunelu Březno u Chomutova.

Častá a významná byla spolupráce Ing. M. Krejčara s Vysokou školou dopravní v Žilině a Fakultou stavební ČVUT v Praze. S kolegou Milošem Buckem jsme se podíleli na řadě jeho projekčních aktivit, což pro nás znamenalo získání cenných praktických zkušeností. Z této spolupráce vzešla i dvě autorská osvědčení Ing. Krejčara (využití segmentového ostění u železničních tunelů a využití sklolaminátových svorníků při ražbě tunelů).

Více než padesátileté působení Ing. Milana Krejčara v české tunelářské komunitě nemůže být a nebude zapomenuto. Za jeho celoživotní přínos pro obor podzemního stavitelství mu touto vzpomínkou symbolicky děkuji jménem všech členů CzTA. Čest jeho památce.

*prof. Ing. JIŘÍ BARTÁK, DrSc.*

Initially, he devoted his professional work to engineering geological survey for underground construction. It corresponded to his long-term interest and education (he graduated from the Technical College of Mining and Geology). He worked in the companies of SUDOP and METROPROJEKT on designs for numerous important projects, e.g. the D1 motorway in the Benešov – Zruč nad Sázavou section, the Diviaky – Bánská Bystrica, Hranice na Moravě – Valašské Meziříčí and Trmice – Bílina railway lines.

He participated in the preparation of the Prague Metro; in the 1970s, at the Federal Ministry of Transport, he provided design documents for the construction of motorway tunnels in Slovakia. In the position of the main technology engineer at the already cancelled company of Vojenské Stavby (military construction), he collaborated on the design and planning for the structural addition to the Vinohrady Railway Tunnel No. III in Prague, where he used his experience from the construction of metro using the Ring Method (the addition comprised two single-track tunnels with the lining formed by reinforced concrete segments). After his return from a long-term secondment at underground construction sites in Japan, he continued to work in our industry. At the end of his professional career he worked on the construction of the Březno u Chomutova railway tunnel.

Ing. M. Krejcar's frequent collaboration with the Faculty of Civil Engineering of the University of Transport in Žilina and the Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University in Prague was also important. Together with my colleague, Miloš Bucek, we participated in many designing activities, which meant gaining valuable practical experience for us. This collaboration resulted in two author certificates for Ing. Krejcar (the Application of segmental lining to railway tunnels and the Application of glassfibre reinforced plastic rockbolts to excavation of tunnels).

The over fifty years lasting activity of Ing. Milan Krejcar in the Czech tunnelling community cannot and will not be forgotten. Through this commemoration, I thank him on behalf of all members of the CzTA for his lifetime contribution to the underground construction engineering. Let us honour his memory.

*prof. Ing. JIŘÍ BARTÁK, DrSc.*

## 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)

### OZNÁMENÍ O ZMĚNĚ TERMÍNU KONÁNÍ VALNÉHO SHROMÁŽDĚNÍ ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE ITA-AITES Z. S.

Vzhledem k situaci v České republice v souvislosti s pandemií COVID-19 oznamujeme všem členům České tunelářské asociace ITA-AITES z. s., že její valné shromáždění proběhne v novém termínu ve středu 30. září 2020. Bude to volební valné shromáždění, protože jeho součástí budou volby předsedy a členů představenstva asociace na funkční období 2020 až 2024.

Výzva k podání návrhů na předsedu a členy představenstva i pozvánka na valné shromáždění včetně jeho programu bude všem členům asociace v souladu se stanovami zaslána v dostatečném předstihu.

*Ing. MARKÉTA PRUŠKOVÁ, Ph.D.,  
pruskova@ita-aites.cz,  
generální sekretář CzTA ITA-AITES*



# Umění spolupráce

Kvalita, přesnost a důslednost v každém detailu.  
Společná koordinovaná práce lidí desítek oborů a profesí.  
Schopnost řešit náročná zadání a odvaha hledat nová řešení.  
Je tohle umění? Možná ne. Jen to dobře umíme.

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

**METROSTAV**





**Geofyzikální  
průzkum**

**Geodetické  
práce**

**Diagnostika  
mostů**

**Geotechnika**

**Diagnostika  
konstrukcí**

**Geologický  
průzkum**

**Monitoring  
staveb**

