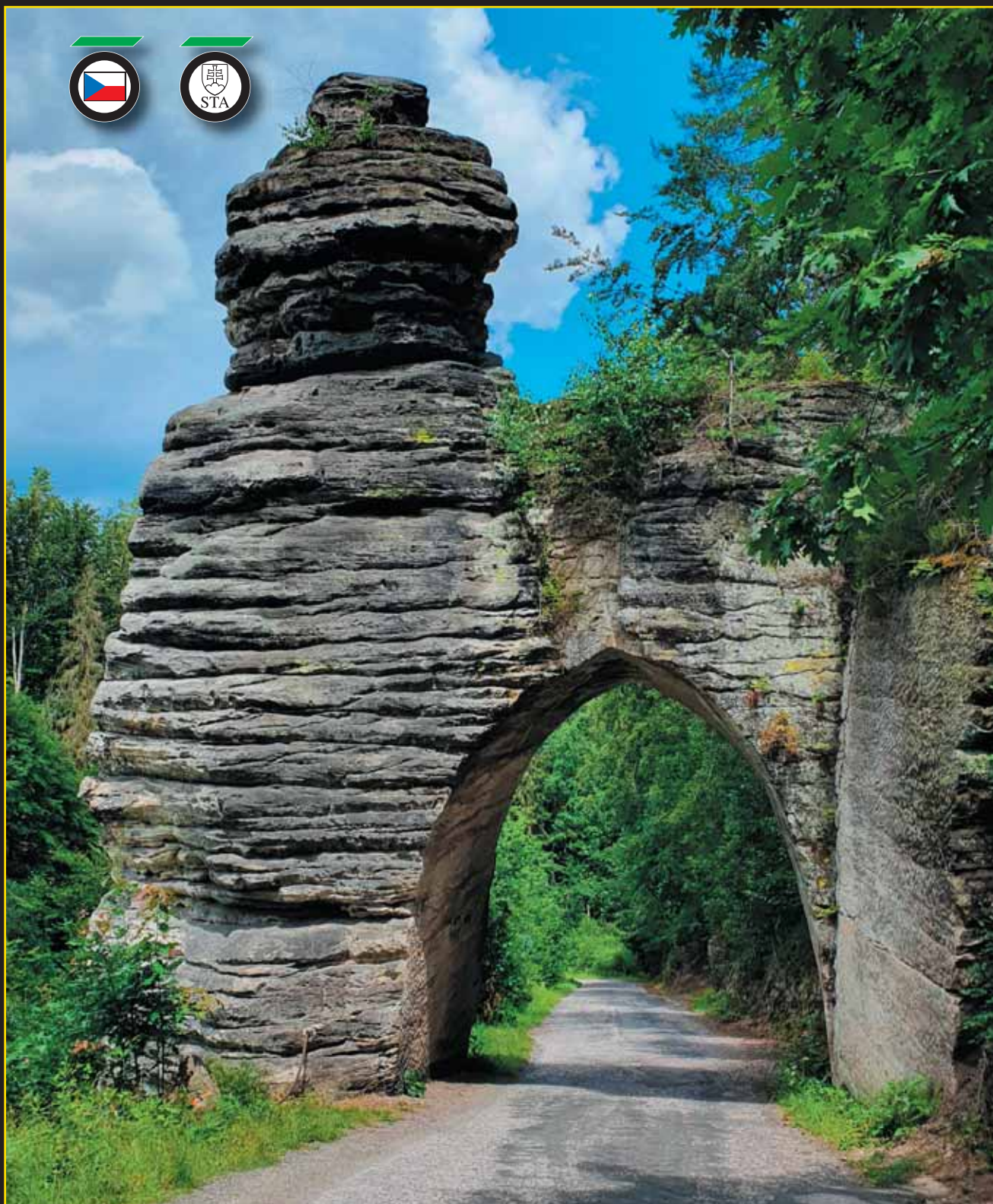


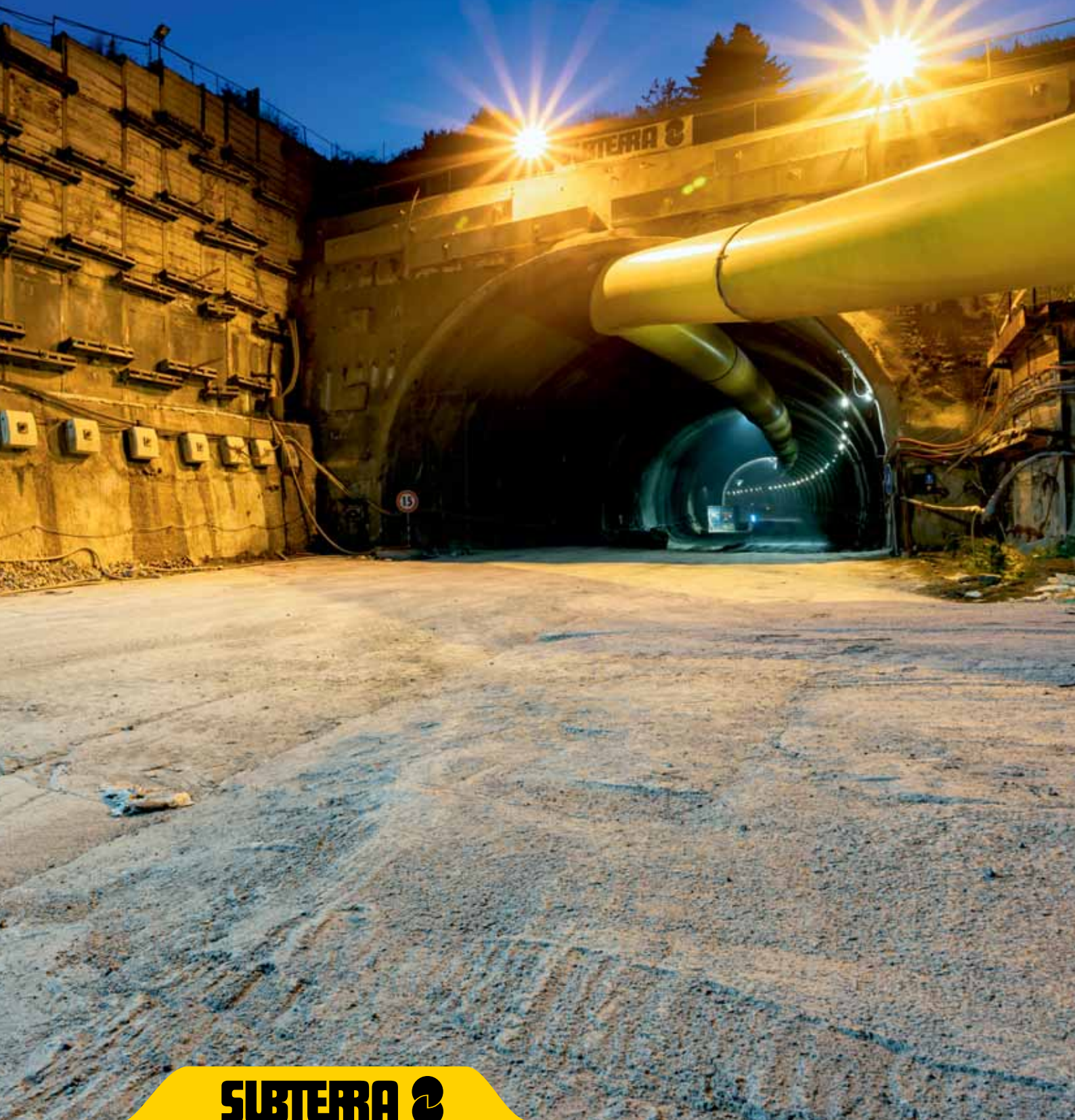
Tuňel

č. 3
2020

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



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



SUBTERRA 

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. Jaroslav Gránem v roce 1992

Obsah

Editorial:	
Ing. Viktória Chomová, členka redakční rady	1
Úvodníky:	
Ing. Petr Kučera, jednatel společnosti Minova Bohemia s.r.o.	2
Dlouholeté poznatky z výzkumu a aplikace chemických injekčních hmot v podzemním stavitelství	
Ing. Petr Kučera, Ing. Adam Janíček, Ing. Miroslav Frantes, Minova Bohemia s.r.o.	3
Projektování a realizace kombinované výztuže při ražbě důlní chodby č. 400 042 v extrémních tlakových podmínkách v OKD, a.s.	
Ing. Petr Čada, Ph.D., Ing. a Ing. Pavel Dvořák, Ph.D., Minova Bohemia s.r.o., Ing. Jiří Golasowski, Ph.D., Ing. Zdeněk Sembol, OKD, a.s.	15
Využití technologie umělé inteligence v reálném čase pro konstrukce podzemních staveb	
Benny Chen, GroundProbe, Louis-Philippe Gélinas, Agnico Eagle Mines Limited, Lasse Knaben, Minova Nordics AB	22
Unipass – nová éra ve svorníkování	
Dipl. Ing. Michael Hosp, Minova International Limited	32
Nový železniční tunel Mezno budovaný v rámci modernizace trati v úseku Sudoměřice – Votice na 4. koridoru	
Ing. Tomáš Just, Ing. Peter Čulík, OHL ŽS, a.s.	40
Rekonstrukce tunelu Arosa, Švýcarsko	
Ing. Lumír Kliš, Dipl.-Ing. Elisabeth Sattlegger, Ing. Mária Tarbajová, AMBERG Engineering Brno, a.s.	50
Maximální dovolená rychlost a její vliv na řešení dálničního tunelu	
prof. Ing. Pavel Příbyl, CSc., ČVUT v Praze, Fakulta dopravní	60
Fotoreportáž z výstavby dvoukolejného železničního tunelu Zvěrotice na IV. železničním koridoru	70
Fotoreportáž zo slávnostného začatia razenia tunela Bikoš na rýchlostnej ceste R4, severný obchvat Prešova, I. etapa, dňa 5. 6. 2020	71
Ze světa podzemních staveb	75
Aktuality z podzemních staveb v České a Slovenské republice	77
Z historie podzemních staveb	86
Výročí	89

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

Vydavatel

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

Distribuce

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

Redakce

Koželužská 2450/4, 180 00 Praha 8-Libeň, tel.: +420 702 062 610
e-mail: pruskova@ita-aites.cz
web: http://www.ita-aites.cz
Vedoucí redaktor: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.
Odborní redaktori: doc. Dr. Ing. Jan Pruška, Ing. Pavel Šourek,
RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D., Ing. Jozef Frankovský
Grafické zpracování: Ing. Jiří Šilar DTP, Na Záměšli 502/3, 150 00 Praha 5
Tisk: SERIFA, s.r.o., Jinonická 804/80, 158 00 Praha 5
Foto na obálce: Ohlédnutí za létem – Pekařova brána, nejkratší český tunel (Markéta Prušková)

Underground Construction (Development, Research, Design, Realization)
Magazine of the Czech Tunnelling Association and the Slovak Tunnelling Association ITA-AITES
Established by Ing. Jaroslav Grán in 1992

Contents

Editorials:	
Ing. Viktória Chomová, Editorial Board Member	1
Ing. Petr Kučera, Executive Director of Minova Bohemia s.r.o.	2
Longterm Findings from Research and Application of Chemical Injection Materials in Underground Construction	
Ing. Petr Kučera, Ing. Adam Janíček, Ing. Miroslav Frantes, Minova Bohemia s.r.o.	3
Design and Implementation of Combined Support during the Excavation of the Mining Gate No. 400 042 in Extreme Pressure Conditions in OKD, Inc.	
Ing. Petr Čada, Ph.D., Ing. and Ing. Pavel Dvořák, Ph.D., Minova Bohemia s.r.o., Ing. Jiří Golasowski, Ph.D., Ing. Zdeněk Sembol, OKD, a.s.	15
Real-Time Artificial Intelligence Technology for Ground Support Construction	
Benny Chen, GroundProbe, Louis-Philippe Gélinas, Agnico Eagle Mines Limited, Lasse Knaben, Minova Nordics AB	22
Unipass – a New Era in Rock Bolting	
Dipl. Ing. Michael Hosp, Minova International Limited	32
Mezno – a New Railway Tunnel under Construction within the Framework of Modernisation of Sudoměřice – Votice Track Section on Corridor No. 4	
Ing. Tomáš Just, Ing. Peter Čulík, OHL ŽS, a.s.	40
Arosa Tunnel Reconstruction, Switzerland	
Ing. Lumír Kliš, Dipl.-Ing. Elisabeth Sattlegger, Ing. Mária Tarbajová, AMBERG Engineering Brno, a.s.	50
Maximum Permissible Speed and its Influence on Motorway Tunnel Design	
prof. Ing. Pavel Příbyl, CSc., ČVUT v Praze, Fakulta dopravní	60
Picture Report from Construction of Zvěrotice Railway Tunnel on Railway Corridor IV	70
Picture Report from the Ceremonial Commencement of the Bikoš Tunnel Excavation on R4 Fast Highway, Northern By-Pass of Prešov, Stage 1	71
The World of Underground Constructions	75
Current News from the Czech and Slovak Underground Construction	77
From the History of Underground Constructions	86
Anniversaries	89

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 Witte – WBI GmbH, Germany

Published for service use

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

Distribution

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

Office

Koželužská 2450/4, 180 00 Praha 8-Libeň, phone: +420 702 062 610
e-mail: pruskova@ita-aites.cz
web: http://www.ita-aites.cz
Editor-in-chief: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.
Technical editors: doc. Dr. Ing. Jan Pruška, Ing. Pavel Šourek,
RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D., Ing. Jozef Frankovský
Ing. Jiří Šilar DTP, Na Záměšli 502/3, 150 00 Praha 5
Graphic designs: SERIFA, s.r.o., Jinonická 804/80, 158 00 Praha 5
Printed: Throwing back to summer – Pekař's gate, the shortest tunnel in Czech Republic (Markéta Prušková)
Cover photo:

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

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

ČZTA:

Čestní členové:

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

Členské organizace:

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

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

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

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

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

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

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

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

Fakulta dopravní ČVUT v Praze
Konviktská 20
110 00 Praha 1

Fakulta stavební ČVUT v Praze
Thákurova 7
166 29 Praha 6

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

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

GeoTec-GS, a.s.
Chmelová 2920/6
106 00 Praha 10 – 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 ÚLOŽIŠŤ
RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ
Dlážďená 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.
Dlážďená 1003/7
110 00 Praha 1

UNIVERZITA PARDUBICE
Dopravní fakulta Jana Pernera
Studentská 95
532 10 Pardubice

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

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

VIS, a.s.
Bezová 1658
147 01 Praha 4

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

STA:

Čestní členovia:

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

Členské organizácie:

Alfa 04 a.s.
Jašíkova 6
821 07 Bratislava

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

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

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

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

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

Doprastav, a.s.
Drieňová 27
826 56 Bratislava

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

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

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

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

GEOstatik a.s.
Kragujevská 11
010 01 Žilina

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

REMING CONSULT a.s.
Trnavská 27
831 04 Bratislava

Renesco a.s.
Panenská 13
811 03 Bratislava

Sika Slovensko, spol. s r.o.
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

Milí čitatelia,

každý na našej nádhерnej planéte sa snaží, aby jeho život bol plnohodnotný, šťastný a slobodný. Týmto smerom sme v uplynulých desaťročiach v našich zemepisných šírkach urobili veľký pokrok a možno práve preto si mnohí z nás veľmi citlivo uvedomujú reštrikcie a obmedzenia, ktoré od marca 2020 zasahujú do nášho každodenného života.

Rozmýšľame o hodnotách, životných istotách, skúsenostiach a poznatkoch, ktoré sú pre nás dôležité, formujú náš svetonázor a najmä interakciu s okolím – rodinou, priateľmi, spolupracovníkmi. Časopis Tunel vám za viac ako 28 rokov svojej existencie prináša rozsiahle a najmä kvalitné informácie zo sveta podzemných stavieb, a sme radi, že sa nám napriek útlmu podarilo pripraviť pre vás ďalšie zaujímavé číslo. Vzniká v období postupného uvoľňovania opatrení spojených s epidémiou koronavírusu, pričom ale nikto z nás dnes netuší, aké budú okolnosti, keď toto číslo budete držať v rukách.

Dovoľte mi preto vysloviť želanie, aby ste v ňom bez ohľadu na to, čo sa deje okolo nás, našli zaujímavé čítanie a najmä informácie, ktoré vám v danej chvíli pomôžu vo víziách a riešeniach toho, čo sa nachádza na vašom pracovnom alebo študijnom stole.

Prípravu projektov nám dnes predlžujú rastúce požiadavky na environmentálnu neutrálnosť projektov – dlhotrvajúce procesy EIA, ku ktorým prichádza množstvo námietok, a spracovanie samostatného posúdenia vplyvu pripravovaných projektov na podzemné a povrchové vody v zmysle smernice EÚ o vodách. Jedno z možných riešení na elimináciu vplyvu stavby na podzemné vody prináša aj článok spoločnosti Minova Bohemia, ktorej je toto číslo venované. Súhrnné informácie z výskumu chemických injektážnych hmôt sú cenné pre každého projektanta či technológa, ktorý sa dnes zaoberá opatreniami na minimalizáciu prítokov vody do tunela ako počas razenia, tak aj počas prevádzky. Všade okolo nás sa objavujú požiadavky na inovácie a nové technológie, preto po sérii informácií ohľadne využitia BIM v podzemnom staviteľstve prinášame článok venujúci sa umelej inteligencii a jej možnostiach pri zefektívnení okamžitej interakcie s horninovým prostredím počas realizácie stavieb. Prinášame vám aj súhrnnú informáciu z razenia tunela Mezno na železničnom koridore Sudoměřice – Votice, kde sa ako jeden z najdôležitejších bodov ukazuje korektná spolupráca medzi objednávatelom a zhotoviteľom pri akejkolvek stavbe, najmä však takej, ktorá je vo verejnom záujme. Ako v Čechách, tak na Slovensku sa nachádza množstvo železničných tunelov, ktoré si budú vyžadovať rekonštrukciu. Inšpiráciu vám môže poskytnúť článok o plánovanej rekonštrukcii švajčiarskeho tunela Arosa s podmienkou zachovania prevádzky železničnej trate počas celého obdobia sanácie.

Na záver mám ešte jedno želanie pre nás všetkých, ktorých srdcia tľú pre podzemné staviteľstvo, aby sme ako spoločnosť našli dostatok vízie, odvahy a finančných zdrojov pre budovanie dopravnej, vodohospodárskej či inej infraštruktúry. A tiež, aby jej súčasťou boli tunely a podzemné stavby, o ktorých vám budeme môcť na stránkach nášho časopisu naďalej prinášať zaujímavé informácie.

Podzemnému stavebníctvu Boh zdaru daj

Ing. VIKTÓRIA CHOMOVÁ,
členka redakčnej rady

Dear readers,

Everyone on our beautiful planet strives to make his life full, happy and free. From this aspect, we have made great advance in our latitudes in the past decades and possibly just for this reason many of us become very sensitively aware of the restrictions and limitations which interfere with our everyday lives from March 2020.

We think about values, life certainties, experience and new knowledge which are important for us, form our worldview and, first of all, our interaction with the surroundings – the family, friends, workmates. During the 28 years of its existence, TUNEL journal has brought extensive and mainly high quality information from the world of underground construction and we are happy that we managed to prepare another interesting issue for you despite the slump. It originates in the period of gradual loosening of measures associated with the coronavirus epidemic, while none of us does not know today what circumstances will exist when you will hold this issue in hand.

Allow me therefore to express my wish that you find in it, without respect to what happens around us, interesting reading and mainly information which will at the moment help you with the visions and solutions to what lies on your work desk or study desk.

The project preparation period is today being extended due to growing requirements for environmental neutrality of projects – long-term EIA processes to which numerous objections are raised and processing of independent assessments of the impact of projects on underground and surface water being prepared in the meaning of the EU directive on water. One of the possible solutions to elimination of the influence of a construction on underground water is brought by the paper of the company of Minova Bohemia, to which this issue is dedicated. Summary information from research into chemical grouting materials is valuable for each designer or technologist who today deals with measures for minimising water inflows into a tunnel both during tunnel excavation and during tunnel operation. Requirements for innovations and new technologies emerge everywhere around us; for that reason we bring, after the series of information regarding the use of the BIM in underground construction, a paper dealing with artificial intelligence and its possibilities in increasing effectiveness of intermediate interaction with ground environment during construction work. In addition, we bring summary information from the excavation of the Mezno tunnel on the Sudoměřice – Votice railway corridor, where correct collaboration between the project owner and the contractor on any construction, but mainly such construction which is in the public interest, turns out to be one of the most important points. Both in Czechia and Slovakia, there are many railway tunnels which will require reconstruction. Inspiration can be provided by the paper on the planned reconstruction of the Arosa tunnel in Switzerland, to be carried out, without interruption to train operation on the rail track, throughout the rehabilitation period.

To conclude, I have got one additional wish, for all of us the hearts of whom beat for underground construction, that we, as the society, find sufficient vision, courage and financial sources for completion of the transport, water management or other infrastructures. And also for tunnels to be their part, so that we can continue to bring interesting information for you on the pages of our journal.

God speed underground construction

Ing. VIKTÓRIA CHOMOVÁ,
Editorial Board Member



VÁŽENÍ KOLEGOVÉ A ČTENÁŘI,

vždy se cítím poctěn představit společně Minova Bohemia s.r.o. prostřednictvím prestižního časopisu Tunnel, a to právě v době, kdy na jedné straně letos oslavujeme 25 let od založení naší firmy a na straně druhé, kdy jsme všichni vysíláni všeobecným bojem s neviditelným nepřítelem COVID-19. Každého z nás se tento stav dotýká jinak, máme jinou úroveň prožívání a potýkáme se s různými důsledky, ale jistě si všichni přejeme se co nejdříve vrátit do normálního stavu a co nejdříve zapomenout na uplynulé období, jako by to byl jen špatný sen uplynulé noci.

Zde si dovoluji malou paralelu v souvislosti s tunelovou výstavbou v České republice, která také dlouhou řadu let trpí jakýmsi virem nebo možná více viry, jejichž působením a přímým důsledkem v podstatě došlo téměř k zastavení podzemní výstavby. Proto jsme všichni určitě přivítali informaci v rámci mezinárodní konference Podzemní stavby Praha 2019 a také tohoto časopisu, že se v České republice v následujících letech připravují významné tunelové stavby. Věřím tedy, že můžeme srovnat krok s kolegy například na Slovensku, kde tunelová výstavba v uplynulých letech probíhala a nadále probíhá se zvýšenou intenzitou a řada z nás příležitost se podílet na těchto stavbách využila.

Mezinárodní skupina Minova, která dnes čítá více než 25 zastoupení po celém světě, v uplynulém období nezahálela, a jak se můžete přesvědčit v prezentovaných příspěvcích, technický pokrok v technologiích, které jsou pro Minovu celosvětově stěžejní, tedy kotvení, injektáže a nově také s tím související monitoring, se nezastavil. Dovolím si podotknout a jsem tomu rád, že jsme se také, v určité fázi vývoje, jako zástupci pro Českou a Slovenskou republiku podíleli na vývoji prezentované technologie UniPass, kterou považujeme za velmi progresivní a vhodnou pro určité podmínky v podzemí také u nás. Tyto nové technologie doplní naši nabídku stávajících kotveních technologií včetně chemických materiálů pro jejich stabilizaci či samostatné injektáže s cílem zpevnit a utěsnit horninové prostředí nebo stavební konstrukci tak, abychom zvýšili efektivitu a bezpečnost při její výstavbě a následném provozování. Nadále tedy budeme usilovat o profesionální partnerství s projektovými, realizačními a dalšími odbornými společnostmi, abychom byli společně schopni řešit a vyřešit efektivně a bezpečně problémy různého charakteru, na které je tunelové prostředí bohaté. Tedy řešení problémů v předstihu a včas, abychom minimalizovali riziko vzniku mimořádných událostí před samotným zahájením tunelových ražeb. Tunel je bezesporu složité a komplexní inženýrské dílo, vyžadující multioborové znalosti a určitou erudici všech zúčastněných, kterou se snažíme jako společnost Minova Bohemia s.r.o. dlouhodobě nabízet ve výše uvedených technologiích, které do moderní tunelové výstavby či sanací stávajících tunelových konstrukcí neodmyslitelně patří.

Naším cílem trvale zůstává být pro naše partnery dodavatelem spolehlivých, prověřených materiálů a technologií, podpořených kvalitním technickým zázemím, mimo jiné v oboru podzemní výstavby. Požadavky na technický návrh řešení nebo pomoc při realizaci speciálních prací v oblasti kotvení a injektování zůstávají ze strany našich partnerů velmi časté.

Díky stálému sledování trendů, inovacím a blízkému kontaktu s realizovanými stavbami jsme v naší snaze úspěšnější a jsem osobně přesvědčen, že budeme úspěšní i nadále. Potvrzením této skutečnosti je stálý zájem a přízeň lokálních společností a rovněž společností ze zahraničí.

K rozvoji informovanosti o nových materiálech a technologiích přispívá společnost Minova Bohemia s.r.o. spolupřipřipádáním každoročního tradičního mezinárodního semináře „Zpevňování, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí“, na kterém se spolupodílíme s VŠB-Technickou univerzitou v Ostravě, katedrou geotechniky a podzemního stavitelství při Stavební fakultě. Tento seminář probíhá pod patronací České tunelářské asociace, předsedy Českého báňského úřadu a České komory autorizovaných inženýrů. V rámci programu semináře jsou prezentovány mimo jiné technologické novinky, zajímavá technická řešení a referenční stavby z ČR i ze zahraničí z oblastí hornictví, geotechniky, podzemního stavitelství a vodohospodářských staveb. Jubilejní 25. ročník semináře se uskutečnil v termínu 5.–6. 3. 2020, jeho program v předchozím vydání tohoto časopisu výstižně popsala paní docentka Ing. Eva Hrubošová, Ph.D.

Věřím, že i v dalším období budeme moci využít své profesní schopnosti v kombinaci s kvalitním produktovým portfoliem a službami, abychom byli pro vás stále žádaným partnerem, schopným spolu s vámi čelit výzvám, které prostředí podzemí přináší.

Závěrem chci popřát všem čtenářům časopisu Tunnel a všem členům CzTA a STA pevné zdraví a mnoho zajímavých tunelových staveb, a také poděkovat redakční radě časopisu Tunnel za dlouhodobou spolupráci, která je funkční i v této mimořádné době.



DEAR COLLEAGUES AND READERS,

I am always honoured to present company Minova Bohemia s.r.o. in prestigious magazine Tunnel and especially in times when we celebrate 25th anniversary of the company establishing on one side and when we are all exhausted by general fight with invisible enemy COVID-19 on the other side. Each of us is affected by this situation differently, we have different level of experience and we face different consequences, but surely we all want to return to normal state as soon as possible and forget about the past as quickly as possible, as if it was just a bad dream of last night.

Here I will allow myself a small parallel in relation to tunnel constructions in the Czech Republic, which has also been suffering from a virus or perhaps more viruses for many years, while its effects and direct consequences have almost stopped underground constructions. Therefore, we all certainly welcomed the information received during the international conference Underground Structures Prague 2019 and also in this magazine that significant tunnel constructions are being prepared in the Czech Republic in the coming years. Thus I believe that we can catch up pace with colleagues, for example in Slovakia, where tunnel constructions have taken place in recent years and continues to take place with increased intensity, and many of us have taken the opportunity to participate in these constructions.

Minova being global company having today more than 25 offices around the world, has not been idle in the past period and as you can see in the presented articles, technical progress in technologies that are crucial for Minova worldwide, ie anchoring, grouting and newly also monitoring, did not stop. I would like to point out and I am glad that at a certain stage of development, as representatives for the Czech and Slovak Republics, we also participated in the development of the presented UniPass technology, which we consider to be very progressive and suitable for certain underground conditions also in our country. These new technologies will complement our range of existing bolting technologies, including chemical materials for their stabilization or separate grouting in order to strengthen and seal the rock environment or building structures so as to increase efficiency and safety in its construction and subsequent operation. Therefore, we will continue to strive for professional partnerships with designers, contractors and other professional companies, that we can together solve and resolve effectively and safely problems of various kind, which are often in the tunnel environment. That means solving problems in advance and in timely manner to minimize the risk of emergencies prior actual start of tunnelling works. Tunnel is undoubtedly a complex and challenging engineering work, requiring multidisciplinary knowledge and a certain erudition of all participants, which we strive to offer for long period as the company Minova Bohemia s.r.o. in the above-mentioned technologies, inseparably belonging to modern tunnel construction or rehabilitation of existing tunnel structures.

Our goal remains to be for our partners supplier of reliable, proven materials and technologies, supported by quality technical background, not only in the field of underground construction. Requirements for technical design of solutions or assistance in the implementation of special works in anchoring and grouting remain very common by our partners.

Thanks to constant monitoring of trends, innovations and close contact with executed constructions we are successful in our efforts and I am personally convinced that we will continue to be successful. Confirmation of this fact is the constant interest and favour of local companies as well as companies from abroad.

Minova Bohemia s.r.o. contributes to the development of awareness of new materials and technologies by co-organization of the annual traditional international seminar "Reinforcement, Sealing and Bolting of the Rock Mass and Engineering Construction", on which we participate with VŠB-Technical University in Ostrava, Department of Geotechnics and Underground Engineering of the Faculty of Civil Engineering. This colloquium takes place under the auspices of the Czech Tunneling Association, the Chairman of the Czech Mining Authority and the Czech Chamber of Authorized Engineers. The seminar programme presents, among other things, technological innovations, interesting technical solutions and reference structures from the Czech Republic and abroad in the fields of mining, geotechnics, underground construction and water infrastructure constructions. The jubilee 25th year of the seminar took place from 5th to 6th March 2020, and its programme was aptly described by Associate Professor Ing. Eva Hrubošová, Ph.D. in the previous issue of this magazine.

I believe that we will be able to use our professional skills in combination with a quality product portfolio and services in the upcoming period, so that we are always for you a sought-after partner able to face together the challenges that the underground environment brings.

Last but not least I would like to wish all readers of Tunnel magazine and all members of CzTA and STA good health and many interesting tunnel constructions, and also thank the editorial board of Tunnel magazine for their long-term cooperation, which is functional even in this extraordinary time.

Ing. PETR KUČERA,

*jednatel společnosti Minova Bohemia s.r.o.
Executive Director of Minova Bohemia s.r.o.*

DLOUHOLETÉ POZNATKY Z VÝZKUMU A APLIKACE CHEMICKÝCH INJEKČNÍCH HMOT V PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ

LONGTERM FINDINGS FROM RESEARCH AND APPLICATION OF CHEMICAL INJECTION MATERIALS IN UNDERGROUND CONSTRUCTION

PETR KUČERA, ADAM JANÍČEK, MIROSLAV FRANTES

ABSTRAKT

Chemické materiály pro zpevňování, těsnění, kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí a jejich užití se staly již nedílnou součástí v procesu strategie, přípravy, projektování a realizace podzemních děl včetně tunelů. A jsou již řadu let hojně využívány tam, kde především zhoršené geologické podmínky a jiné podstatné vlivy vyžadují věcné a bezpečné řešení technicky adekvátními prostředky. Článek seznamuje s praktickými poznatky a specifičností laboratorních měření u některých vybraných chemických hmot z nabídky skupiny Minova.

ABSTRACT

Chemical materials for strengthening, sealing, anchoring of rock mass and building structures and their usage became an integral part of the process of strategy, preparation, design and implementation of underground works including tunnels. They have been widely used for many years where deteriorating geological conditions and other significant influences require a factual and safe solution by technically adequate means. The article introduces the practical knowledge and specifics of laboratory measurements of some selected chemicals from the Minova Group portfolio.

ÚVOD

Chemické injekční materiály se staly součástí běžného využívání jak v hornictví, tak i v podzemním a pozemním stavitelství. V této souvislosti jsou stanoveny požadavky na cílové parametry těchto injekčních hmot pro podklady navrhování a kontroly injekčních prací – jedná se o znalosti jednotlivých vlastností a chování injekčních hmot jak v procesu injektáže, tak i po vytvrzení. Laboratorní metody zkoušení chemických injekčních směsí jsou nadále rozvíjeny a vzhledem k rozdílnosti vlastností jednotlivých zkoušených hmot jsou velmi různorodé a je k nim nutno přistupovat individuálně. Zjišťované vlastnosti, které mají rozhodující vliv pro vlastní proces injektáže, popř. jejich výsledek, lze rozdělit do několika skupin:

- měření viskozity injekčních hmot;
- měření fyzikálně-mechanických vlastností injekčních hmot;
- laboratorní výzkum injekčních procesů a zjišťování vlastností injektovaných hornin a zemin;
- laboratorní výzkum injekčních procesů a zjišťování adhezních vlastností injekčních hmot k horninám skalního typu (zpevňující a těsnící injektáže diskontinuit v horninovém masivu).

S ohledem na četnost a rozsah použití byli pro výzkum a laboratorní zkoušky vybráni zástupci dvou nejčastěji používaných typů injekčních materiálů – polyuretanových pryskyřic (CarboPur WF, CarboPur WFA, CarboPur WT, Bevedan-Bevedol) a organicko-minerálních pryskyřic (Geoflex).

VISKOZITA INJEKČNÍCH MÉDIÍ

Dynamická viskozita chemických injekčních hmot je jednou z rozhodujících vlastností z hlediska průběhu a dosahu injektáže. U dvousložkových chemických médií, např. na bázi polyuretanových pryskyřic, hraje významnou roli viskozita jednotlivých složek a její rozdíly, které mohou ovlivnit složení, a tím i vlastnosti výsledného média. Ve spolupráci s Ústavem geoniky Akademie věd ČR bylo vybráno několik široce používaných dvousložkových injekčních systémů pro laboratorní zkoušky viskozity v závislosti

INTRODUCTION

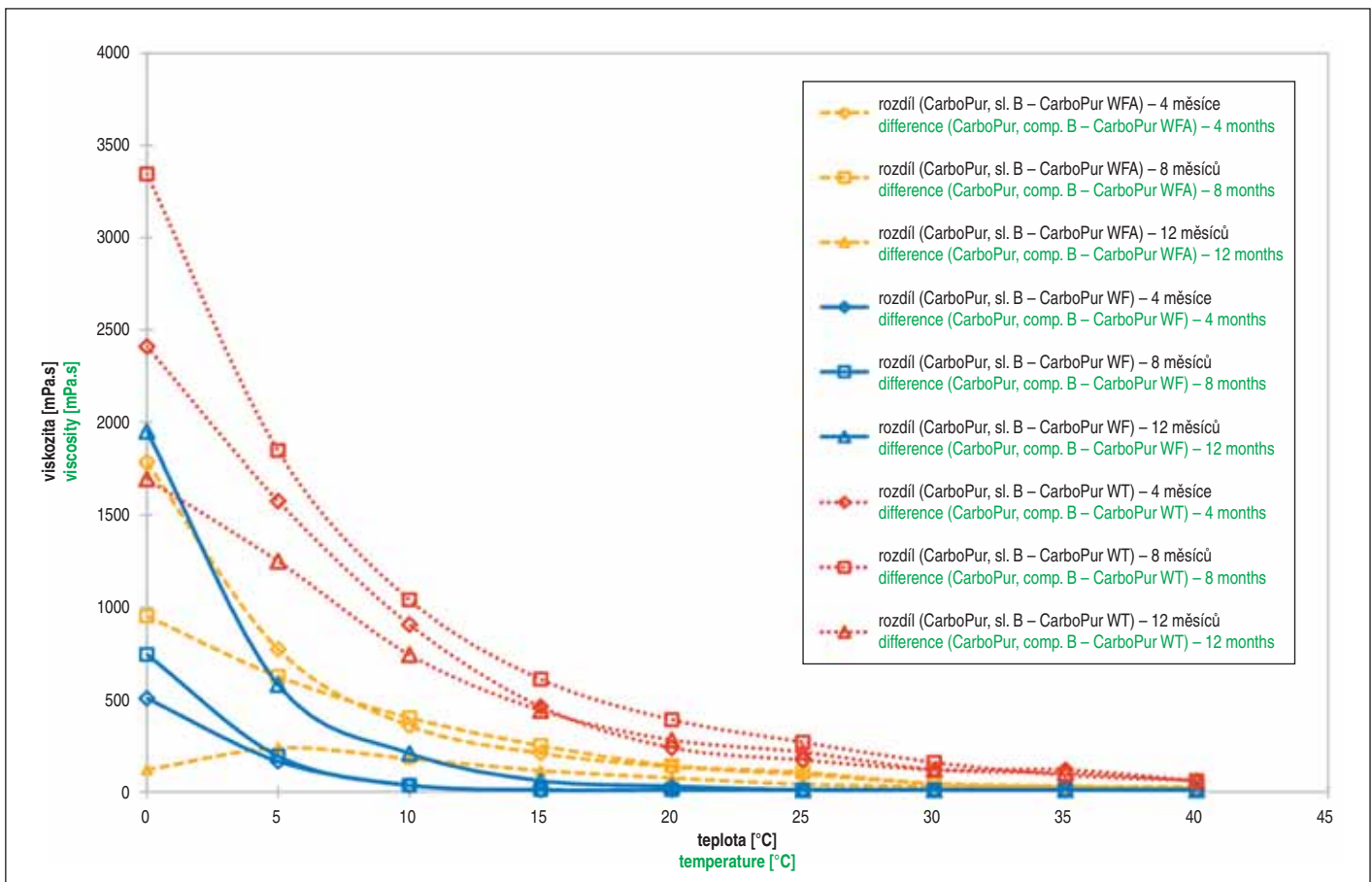
Chemical injection materials have become part of the common use both in mining and in underground and building construction. In this context, the requirements for the target parameters of these injection materials are set for the basis of design and control of grouting process – it is about the knowledge of individual properties and behaviour of injection materials both in the application process and after curing. Laboratory methods for testing chemical injection mixtures are still being developed and, due to the differences in the properties of the individual test materials, they are very diverse and must be approached individually. Measured properties that have a decisive influence on the grouting process itself, or their result can be divided into several groups:

- measuring the viscosity of injection materials;
- measurement of physical-mechanical properties of injection materials;
- laboratory research of injection processes and determination of properties of injected rocks and soils;
- laboratory research of grouting processes and determination of adhesion properties of injection materials to rock-type rocks (consolidation and sealing grouting of discontinuities in the rock massif).

With respect to the frequency and scope of use, representatives of the two most commonly used types of injection materials – polyurethane resins (CarboPur WF, CarboPur WFA, CarboPur WT, Bevedan-Bevedol) and silicate resins (Geoflex) were selected for research and laboratory testing.

VISCOSITY OF INJECTION MEDIA

The dynamic viscosity of chemical injection materials is one of the decisive properties in terms of the course and scope of grouting process. In the case of two-component chemical media, e.g. based on polyurethane resins, the viscosity of the individual components and its differences play an important role, which can affect the composition and thus the properties of the resulting medium.



Obr. 1 Rozdíly viskozit jednotlivých komponent v injekčních systémech CarboPur
 Fig. 1 Differences in viscosities of individual components of CarboPur injection systems

na teplotě a na stáří hmot. Viskozita jednotlivých komponent byla měřena rotačním viskozimetrem COLE-PARMER, který měří viskozitu pomocí disku ponořeného do měřené kapaliny, na základě odečítání krouticího momentu při konstantní rychlosti rotace. Vliv teploty byl sledován v rozmezí minus 7 až plus 45 °C, vliv stáří komponent byl zjišťován opakovaným měřením v rozmezí 12 měsíců. Při překročení rozdílů viskozit o cca 300 mPa.s docházelo při použití laboratorního čerpadla k takovým rozdílům v čerpání obou složek, že měly nepříznivý vliv na vlastnosti výsledné injekční hmoty. U výkonnějších provozních axiálních pístových čerpadel lze za přípustný rozdíl viskozit obou složek považovat hodnotu 500–700 mPa.s. Výsledky měření jsou uvedeny na obr. 1, který znázorňuje přímo rozdíly viskozit odpovídajících složek zkoumaných systémů. Z databáze naměřených hodnot jednotlivých komponent u injekčních systémů CarboPur WF, WFA a WT byla pro snadné a rychlé určení přibližné viskozity pro danou teplotu stanovena regresní rovnice typu:

$$V = e^{(A + B / (t - C))}$$

kde V je viskozita (mPa.s),
 A, B, C jsou jednotlivé parametry, které charakterizují tvar dané křivky pro určitou složku injekčního systému (--),
 t je daná teplota (°C).

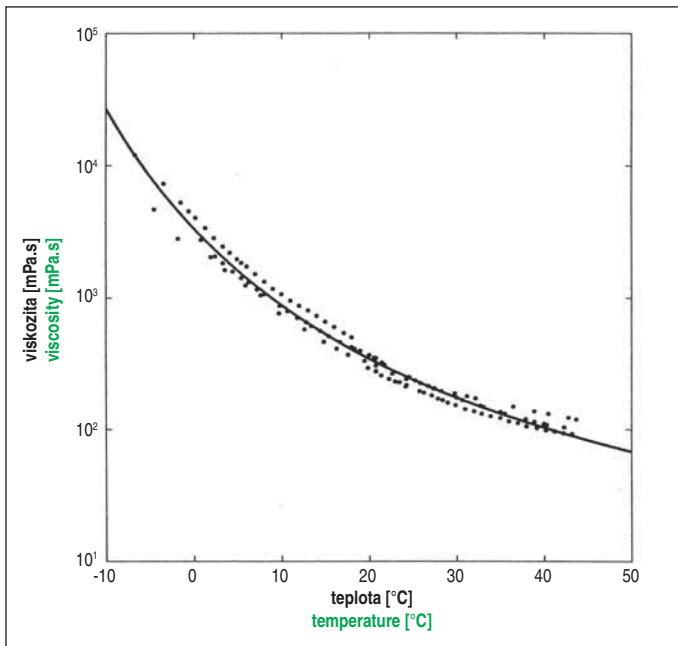
Tato exponenciální rovnice uspokojivě popisuje křivky proložené naměřenými hodnotami viskozit v intervalu 0–40 °C (obr. 2), např. pro hmotu Bevedan jsou jednotlivé parametry A, B a C výše uvedené regresní rovnice následující:

$$A = 0,6511 \mid B = 341,8 \mid C = -45,79.$$

In cooperation with the Institute of Geonics of the Academy of Sciences of the Czech Republic, several widely used two-component injection systems for laboratory tests of viscosity depending on temperature and age of materials were selected. The viscosity of the individual components was measured with a COLE-PARMER rotary viscometer, which measures the viscosity using a disk immersed in the liquid to be measured, based on a reading of the torque at a constant rotational speed. The effect of temperature was monitored in the range of minus 7 to 45°C, the effect of the age of the components was determined by repeated measurements in the range of 12 months. When the viscosity differences were exceeded by approx. 300mPa.s, there were such differences in the pumping of both components using laboratory pump that an adverse effect on the properties of the resulting injection mixture was observed. For more powerful operating axial piston pumps, a value of 500–700mPa.s can be considered as a permissible difference in the viscosities of the two components. The results of the measurements are shown in Fig. 1, which directly shows the differences in viscosities of the corresponding components of the investigated systems. From the database of measured values of individual components for CarboPur WF, WFA and WT injection systems, a regression equation of the following type was determined for easy and fast determination of the approximate viscosity for a given temperature:

$$V = e^{(A + B / (t - C))}$$

where V is viscosity (mPa.s),
 A, B, C are individual parameters characterising shape of given curve for exact component of injection system (--),
 t is given temperature (°C).



Obr. 2 Vliv teploty na viskozitu složky CarboPur, sl. B

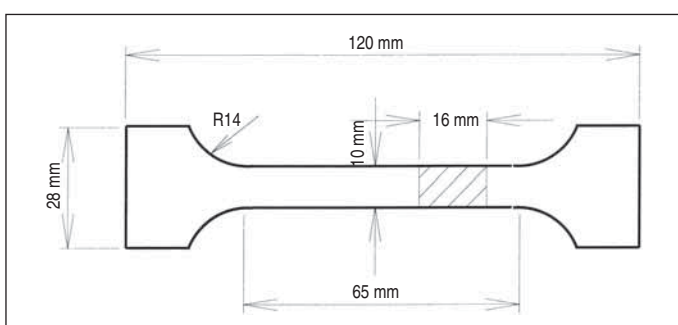
Fig. 2 Influence of temperature on the viscosity of the CarboPur component, comp. B

Ze získaných poznatků lze vyvodit některé praktické závěry:

- rozdíly viskozity obou složek obecně rostou s klesající teplotou;
- všechny zkoušené hmoty jsou použitelné v rozmezí teplot 25–40 °C;
- jako nejstálější se jeví systémy CarboPur WF, CarboPur WFA, které lze běžně aplikovat v rozmezí 5–40 °C, všechny systémy Bevedan-Bevedol v rozmezí 15–40 °C;
- doba skladování zvětšuje rozdíly mezi viskozitou obou komponent;
- z hlediska stárnutí komponent vykazuje nejvyšší stabilitu řada CarboPur, kterou bylo možno použít i po 12 měsících, limitující složkou z hlediska stárnutí je vždy polyizokyanátová složka.

MĚŘENÍ FYZIKÁLNĚ-MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ VYTVRZENÝCH INJEKČNÍCH HMOT

Pro zkoušky pevnosti v tlaku se zpravidla nalévá promíchaná směs do válečkových forem. Vytvrzené vzorky se po úpravě čelních ploch přímo podrobují zkouškám pod lisem nebo v triaxiálu. Pro zkoušky pevnosti v tahu se promíchaná směs nalévá do deskové formy a po vytvrzení se vyřežou trámečky požadovaných rozměrů. Pro přípravu tvarovaných trámeček (obr. 3) pro zkoušky v prostém tahu se s výhodou využívá řezání vysokotlakým paprskem. Zvláštní režim je aplikován při přípravě vzorků napěňujících injekčních



Obr. 3 Tvar zkušebního tělíska pro zkoušku pevnosti v tahu

Fig. 3 Shape of test piece for tensile test

This exponential equation satisfactorily describes the curves interpolated through the measured values of viscosities in the range 0–40°C (Fig. 2), e.g. for the Bevedan resin the individual parameters A, B and C of the above regression equation are as follows:

$$A = 0,6511 \mid B = 341,8 \mid C = -45,79.$$

From acquired findings some practical conclusions can be drawn:

- differences in viscosity of both components generally increase with decreasing temperature;
- all tested materials are usable in the temperature range 25–40°C;
- CarboPur WF, CarboPur WFA systems appear to be the most stable, while can be applied in the range of 5–40°C, all Bevedan-Bevedol systems in the range of 15–40°C;
- storage time increases the differences between the viscosities of the two components;
- in terms of component aging, the CarboPur product range shows the highest stability, while these could be used even after 12 months, the limiting component in terms of aging is always the polyisocyanate component.

MEASUREMENT OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF HARDENED INJECTION MATERIALS

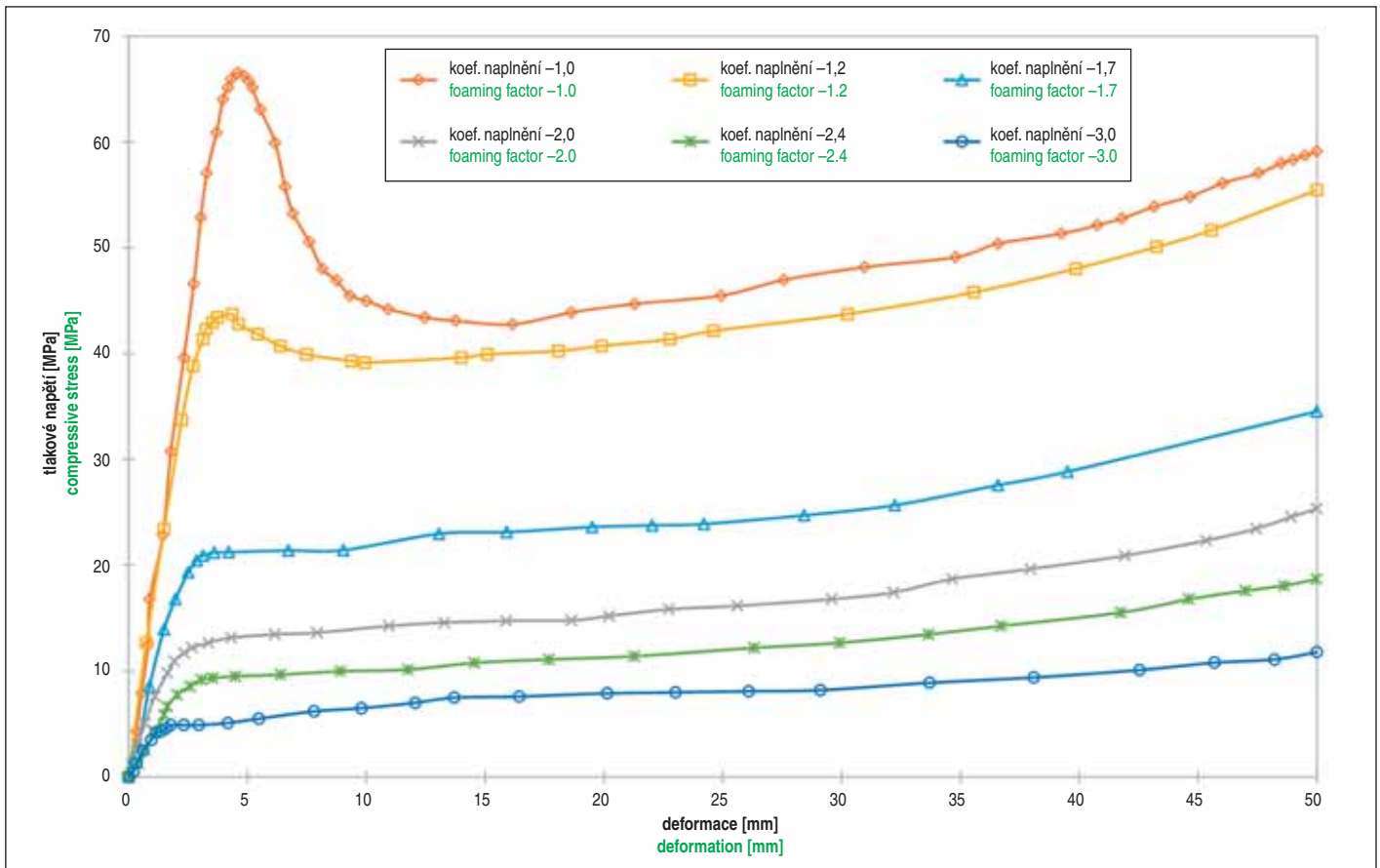
For compressive strength tests, the mixed mixture is usually poured into roller moulds. After treatment of the end faces, the cured samples are directly subjected to tests under a press or in a triaxial. For tensile tests, the mixed mixture is poured into a plate mould and, after curing, beams of the required dimensions are cut. For the preparation of shaped beams (Fig. 3) for simple tensile tests, high-pressure jet cutting is preferably used. A special regime is applied in the preparation of samples of foaming injection materials representing a significant part of the injection media used in practice. Closed pressure moulds are used to monitor the effect of the foaming factor on the properties of the resulting material. The volume of medium introduced into the mould determines the foaming factor of the sample. This is expressed by the foaming coefficient, which is the ratio of the bulk density of the cured non-foamed mass to the bulk density of the cured foamed sample.

From the results of changes detection in the physical-mechanical properties depending on the foaming factor of the injection mass furthermore results obtained from the uniaxial compressive strength tests are given below. In this test, the compressive strength, modulus of elasticity and the resulting deformation diagrams were evaluated. CarboPur WF and WFA injection systems were subjected to these tests. The results of the CarboPur WF injection system measurements are presented in more detail below, but it can be stated that the results and behaviour of the above injection systems are similar.

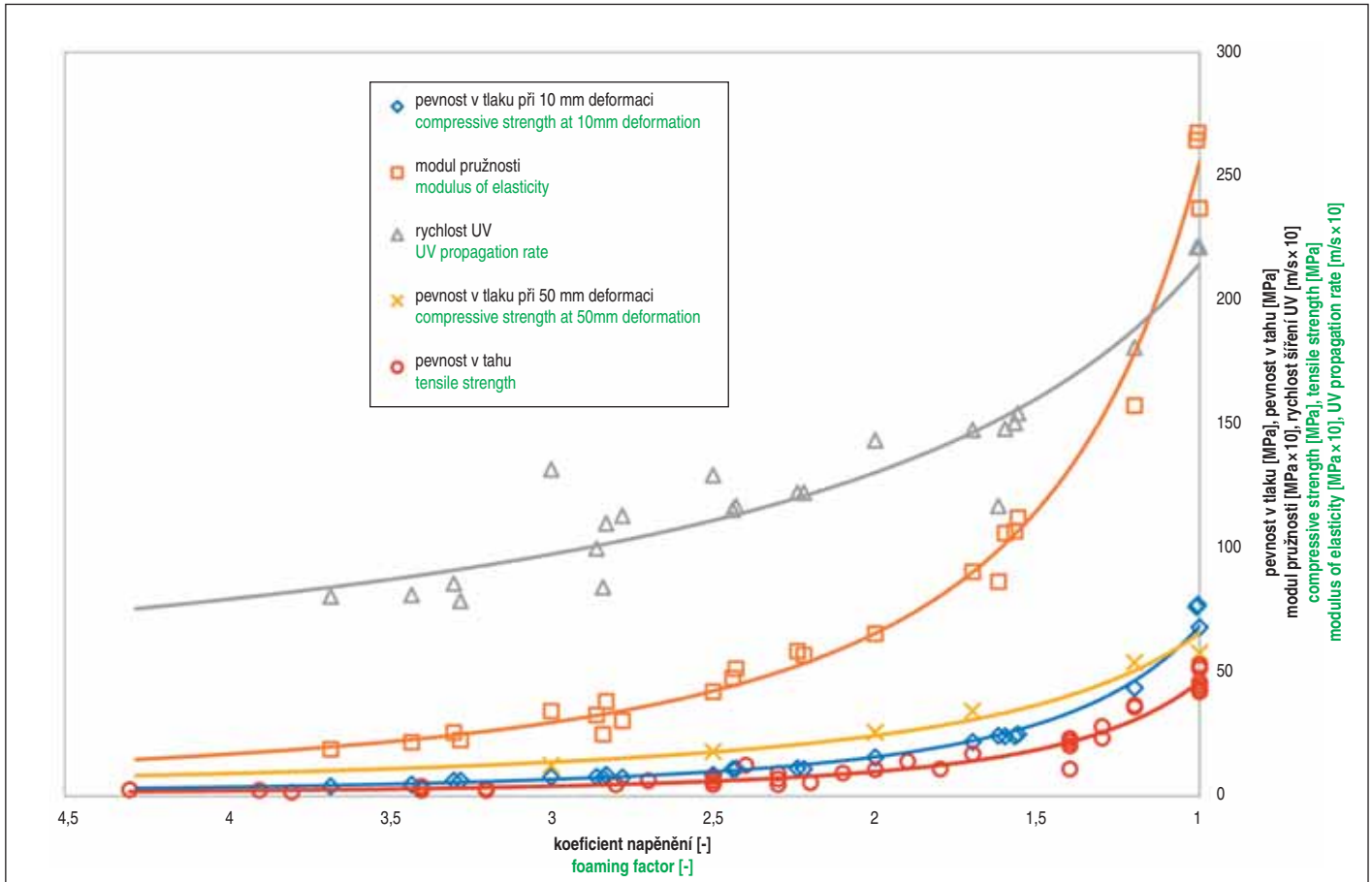
From the deformation diagrams, as shown in Fig. 4, it was possible to unambiguously determine the compressive strength of non-foamed samples and samples with a lower foaming factor ($k_{\text{nap}} = 1,0-1,5$), which in the first phase have the character of a deformation curve of brittle materials, however, with much greater longitudinal deformation and in this phase of the deformation diagram it is possible to read well the maximum force and thus the load capacity (usually up to about 5mm of longitudinal deformation). In the next phase of the deformation diagram it can be seen that these materials achieve high residual strength with plastic deformation with nonlinear strengthening.

At higher foaming factors ($k_{\text{nap}} = 1,5-3,0$), the deformation curves have the character of elastically plastic with non-linear strengthening, this strengthening decreases with increasing foaming factor. The maximum force for the calculation of compressive strength was determined from the deformation curves at values of longitudinal deformation of about 10% and 50%, which are extremely large relative deformations.

The modulus of elasticity was determined from the initial linear part



Obr. 4 Deformační křivky pro různé koeficienty napěnění – CarboPur WF
 Fig. 4 Deformation curves for different foaming factors – CarboPur WF



Obr. 5 Závislost pevnosti v tlaku, modulu pružnosti a rychlosti šíření podélných vln na stupni napěnění – injekční hmota CarboPur WF
 Fig. 5 Dependence of compressive strength, modulus of elasticity and speed of propagation of longitudinal waves on the factor of foaming – injection material CarboPur WF

hmot, které představují značnou část v praxi používaných injekčních médií. Pro sledování vlivu stupně napěnění na vlastnosti výsledného materiálu se používá uzavřených tlakových forem. Objem média vpravený do formy určuje stupeň napěnění vzorku. Ten se vyjadřuje koeficientem napěnění, což je poměr objemové hmotnosti vytvrzené nenapěněné hmoty k objemové hmotnosti vytvrzeného napěněného vzorku.

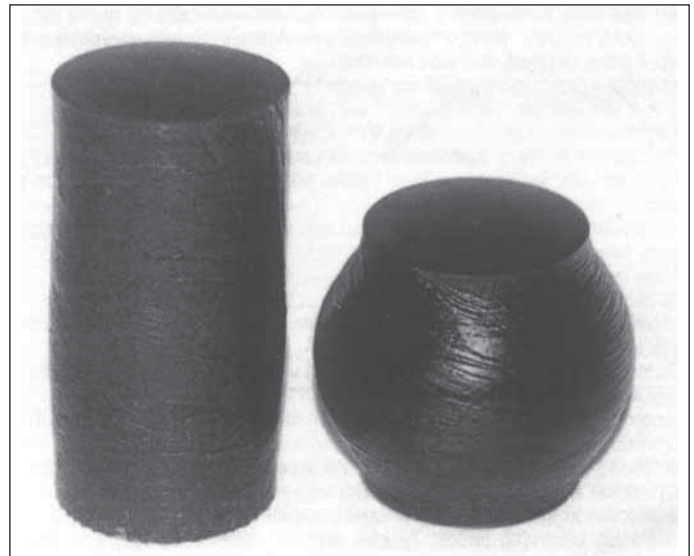
Z výsledků zjišťování změn fyzikálně-mechanických vlastností v závislosti na stupni napěnění injekční hmoty jsou dále uvedeny výsledky získané ze zkoušek pevnosti v jednoosém tlaku. U této zkoušky byly hodnoceny pevnost v tlaku, modul pružnosti a výsledné přetvárné diagramy. Těmto zkouškám byly podrobeny např. injekční systémy typu CarboPur WF a WFA. Podrobněji jsou dále uvedeny výsledky z měření injekčního systému CarboPur WF, lze však konstatovat, že zjištěné výsledky a chování výše uvedených injekčních systémů jsou podobné.

Z přetvárných diagramů, jak je patrné na obr. 4, bylo možné jednoznačně stanovit pevnost v tlaku u nenapěněných vzorků a vzorků s nižším stupněm napěnění ($k_{\text{nap}} = 1,0-1,5$), které mají v první fázi charakter deformační křivky křehkých materiálů, ovšem při daleko větší podélné deformaci a lze z nich v této fázi přetvárného diagramu dobře odečíst maximální sílu a tedy i únosnost (zpravidla cca do 5 mm podélné deformace), v další fázi přetvárného diagramu je vidět, že tyto materiály dosahují velké reziduální pevnosti s plastickým přetvářením s nelineárním zpevněním.

U vyšších stupňů napěnění ($k_{\text{nap}} = 1,5-3,0$) mají deformační křivky charakter pružně plastický s nelineárním zpevněním, toto zpevnění klesá s rostoucím stupněm napěnění. Maximální síla pro výpočet pevnosti v tlaku byla stanovena z deformačních křivek při hodnotách podélné deformace cca 10 % a 50 %, což jsou extrémně velké poměrné deformace.

Moduly pružnosti byly stanoveny z počáteční přímkové části přetvárných charakteristik při podélném přetvoření max. do 3 mm. Výsledky uvedených zkoušek jsou znázorněny na obr. 5. Výsledný tvar zkušebních tělísek po 50 % podélného přetvoření byl soudkový, bez viditelného porušení křehkého typu (praskliny, trhliny), byl pouze plasticky deformován (obr. 6).

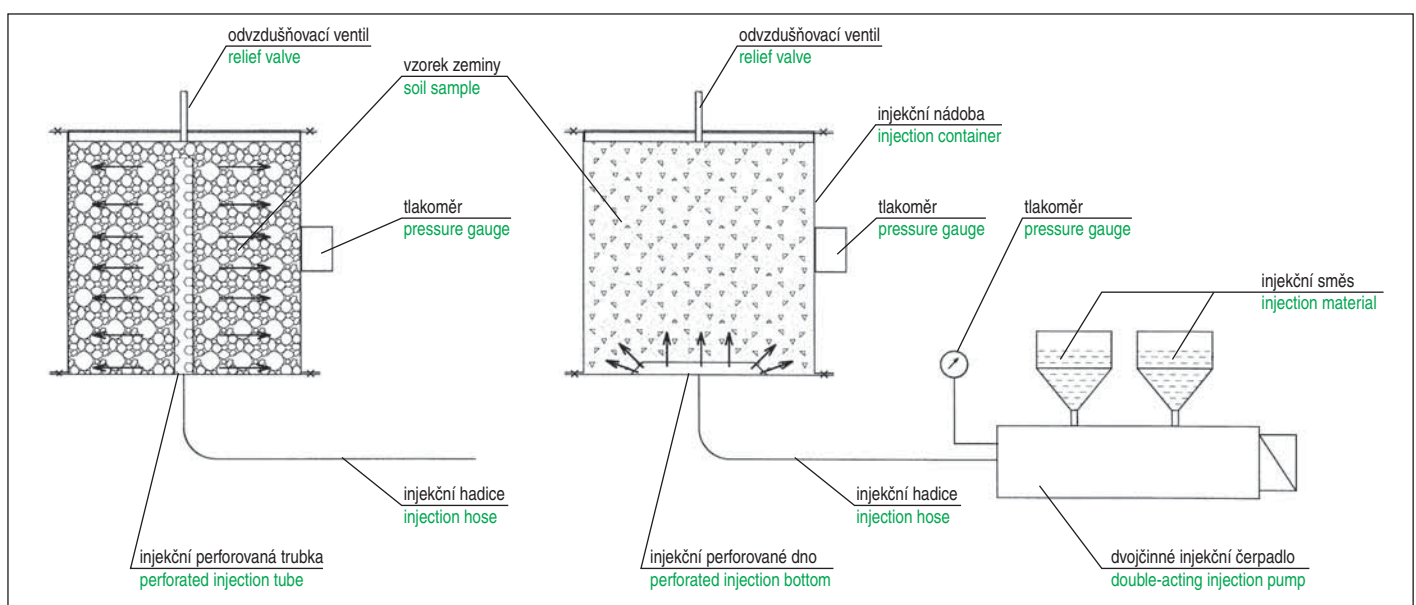
Na obr. 5 lze vidět srovnání výsledků pevnosti v tahu a tlaku injekční hmoty CarboPur WF. Pevnosti v tahu u nenapěněné a méně napěněné pryskyřice CarboPur WF cca do koeficientu



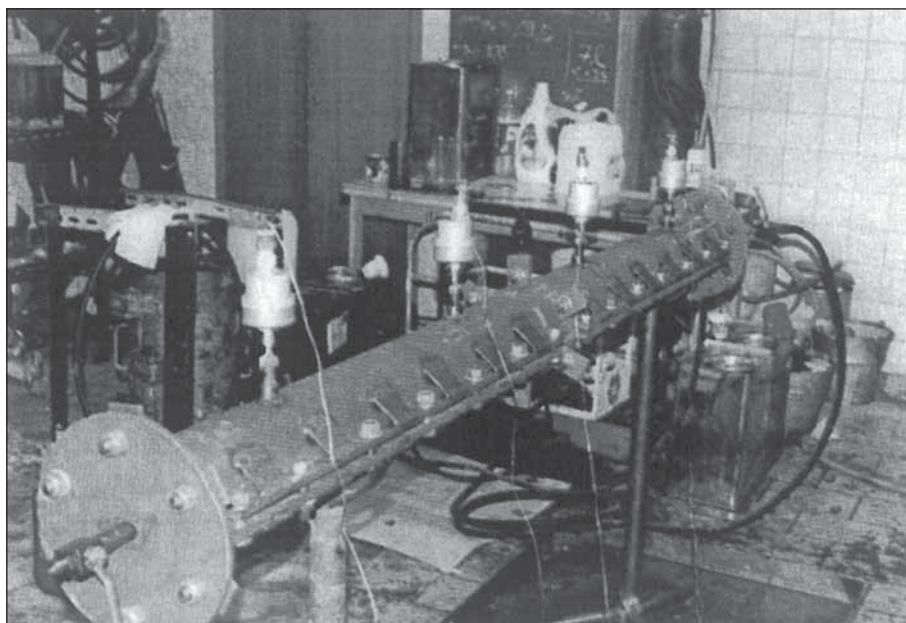
Obr. 6 Zkušební tělíska po zkoušce v prostém tlaku při poměrné axiální deformaci 10 % a 50 %, injekční hmota CarboPur WF, koeficient napěnění 1,0
Fig. 6 Test specimens after simple pressure test at relative axial deformation of 10% and 50%, CarboPur WF injection compound, foaming factor 1.0

of the deformation characteristics with a longitudinal deformation of up to 3mm. The results of these tests are shown in Fig. 5. The resulting shape of the test specimens after 50% longitudinal deformation was barrel, without visible failure of the brittle type (cracks, fissures), it was only plastically deformed (Fig. 6).

Figure 5 shows a comparison of the tensile and compressive strength results of CarboPur WF. The tensile strengths of non-foamed and less foamed CarboPur WF resin up to a foaming coefficient of 1,5 are approximately in the range of about 65–50% compared to the compressive strength at a longitudinal deformation of 50mm, at higher foaming factors of CarboPur WF resin (foaming coefficient approx. 3) the tensile strength also reaches relatively high values in comparison with the compressive strength at a longitudinal deformation of 50mm. From a practical point of view, it should be added that polyurethane resins have the ability to significantly foam, however, experience from grouting shows that injectable resins in injected rocks and soils are able, depending on the type of rock, respectively soil and its settlement conditions, to foam in the range



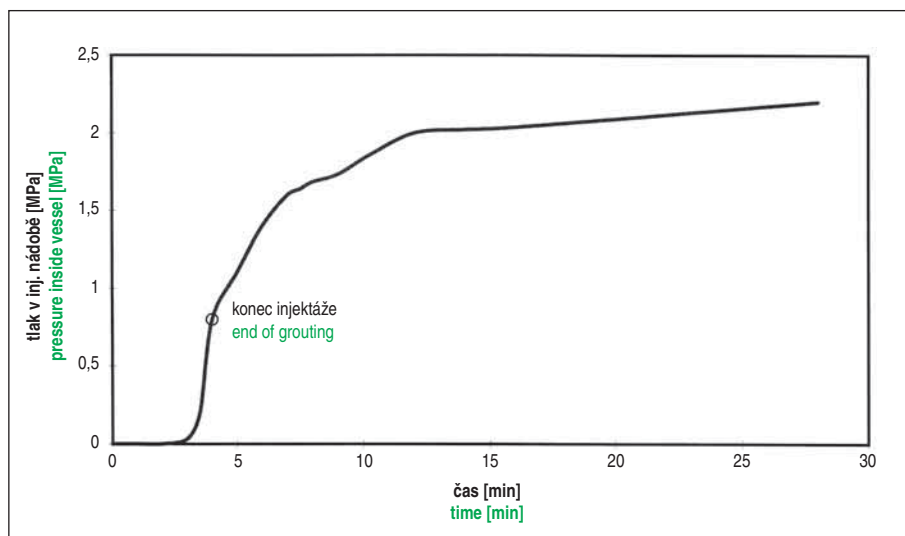
Obr. 7 Schéma injekční zkoušky v tlakové nádobě
Fig. 7 Scheme of injection test in pressure vessel



Obr. 8 Dlouhá injekční nádoba s možností měření tlaku uvnitř nádoby
Fig. 8 Long injection vessel with the possibility of measuring the pressure inside the vessel

napětí 1,5 se pohybují zhruba v rozmezí cca 65–50 % ve srovnání s pevností v tlaku při podélné deformaci 50 mm, u vyšších stupňů napětí pryskyřice CarboPur WF (koeficient napětí cca 3) dosahuje tahová pevnost také relativně vysokých hodnot ve srovnání s pevností v tlaku při podélné deformaci 50 mm. Z praktického hlediska je nutno dodat, že polyuretanové pryskyřice mají schopnost výrazně napěňovat, nicméně zkušenosti z provádění injektáží ukazují, že injekční pryskyřice v proinjektovaných horninách a zeminách jsou schopny podle typu horniny, resp. zeminy a jejích úložných podmínek, napěňovat v rozmezí koeficientu napětí 1,5–3,0, proto pro posouzení vhodnosti těchto polyuretanových pryskyřic jsou rozhodující vlastnosti v tomto intervalu koeficientu napětí.

Z výsledků měření jak u tlakových, tak u tahových zkoušek (obr. 5) je patrné, že k největšímu snížení mechanických vlastností dochází do koeficientu napětí cca 2,0, další zvyšování koeficientu napětí způsobuje relativně menší snižování naměřených hodnot. Chování materiálu při velkých deformacích a hodnoty reziduální pevnosti jsou relativně méně závislé na stupni napětí.



Obr. 9 Průběh tlaku v injektované tlakové nádobě
Fig. 9 Pressure profile inside the injected pressure vessel

of the foaming coefficient 1,5–3,0, therefore the properties in this interval of the foaming coefficient are decisive for the assessment of the suitability of these polyurethane resins.

From the measurement results in both pressure and tensile tests (Fig. 5) it is evident that the largest decrease in mechanical properties occurs up to a foaming coefficient of about 2,0, further increase of the foaming coefficient causes a relatively smaller decrease in measured values. The behaviour of the material at large deformations and the residual strength values are relatively less dependent on the foaming factor.

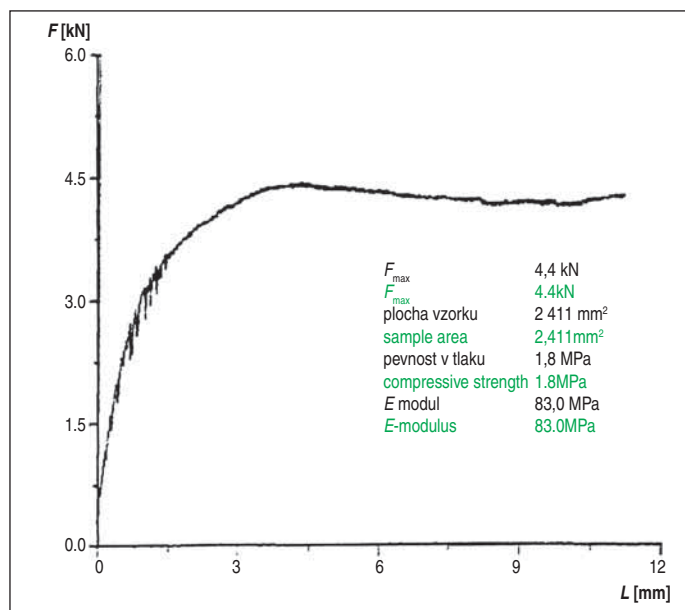
LABORATORY RESEARCH OF GROUTING PROCESSES AND DETERMINATION OF PROPERTIES OF INJECTED ROCKS AND SOILS

Laboratory research on grouting processes includes two areas of testing. For soils or in the case of severely disturbed rocks, tests are carried out in pressure vessels filled with rock material into which the relevant medium is

injected. In the second group, for rocks, grouting tests of individual cracks are performed, usually artificially created in the rock sample. Samples of injected rocks and soils are further used after hardening to determine the physical and mechanical properties.

In the research of grouting processes of porous soils and broken rocks in pressure vessels filled with rock material, into which the respective medium is injected, the parameters of the medium pressure at the pump and in the vessel, the volume of the injected mass and its spread in the rock are monitored. A diagram of the equipment for these tests is shown in Fig. 7. The pressure vessels for these tests have different shapes and dimensions. Thick-walled pipes with an inner diameter of 145mm and a length of 2m with regularly distributed pressure sensors are used to monitor the grouting process (Fig. 8). Pressure vessels for grouting tests are generally detachable, so that the entire grouted body can be removed and used to shape test specimens for testing the physical and mechanical properties of the formed geocomposites. The result of the measurement of the injection pressure in the experiment with the grouting of the polyurethane resin CarboPur WF into the environment of crushed carbonic shales in a closed pressure vessel is shown in Fig. 9.

Fig. 9 shows the increase in pressure during and after the grouting (the end of the grouting represents the marked point on the curve shown). The simple compressive strength of the geocomposite thus prepared was in the range of 1,8–4,0MPa (Fig. 10). Tests of geocomposite samples in uniaxial pressure showed that the nature of the deformation curves allows the tested materials to be divided into several groups according to the nature of deformation, which is related to the original rock material, type of injection medium and sample texture. All groups with different compressive strengths are characterized by a high value of deformation beyond the failure limit and high values of residual strength. Figures 10 and 11 show the characteristic deformation curves of the uniaxial compressive strength tests of geocomposites. Fig. 10 represents a highly plastic geocomposite formed by fragmented



Obr. 10 Záznam zkoušky pevnosti v jednoosém tlaku – injekční hmota CarboPur WF / břidlice

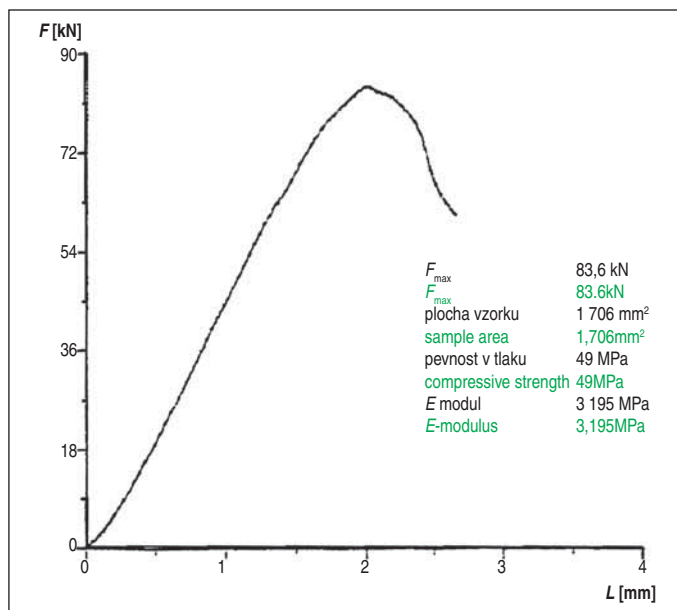
Fig. 10 Uniaxial Compression Test Record – CarboPur WF / Slate Injection

LABORATORNÍ VÝZKUM INJEKČNÍCH PROCESŮ A ZJIŠŤOVÁNÍ VLASTNOSTÍ INJEKTOVANÝCH HORNIN A ZEMIN

Laboratorní výzkum procesů injektáže zahrnuje dvě oblasti zkoušek. U zemin, příp. u silně porušených hornin, se provádějí zkoušky v tlakových nádobách, naplněných horninovým materiálem, do nichž je injektováno příslušné médium. Ve druhé skupině, u skalních hornin, se provádějí zkoušky injektáže jednotlivých trhlin, zpravidla uměle vytvořených v horninovém vzorku. Vzorky injektovaných hornin a zemin jsou po vytvrzení dále využívány pro zjišťování fyzikálně-mechanických vlastností.

Při výzkumu injekčních procesů pórovitých zemin a porušených hornin v tlakových nádobách, naplněných horninovým materiálem, do nichž je injektováno příslušné médium, jsou sledovány parametry tlaku média u čerpadla a v nádobě, objem injektované hmoty a její šíření v hornině. Schéma zařízení pro tyto zkoušky je uvedeno na obr. 7. Tlakové nádoby pro tyto zkoušky mají různý tvar a rozměry. Pro sledování postupu injektáže se používají silnostěnné trubky o vnitřním průměru 145 mm a délce 2 m s pravidelně rozmístěnými tlakovými čidly (obr. 8). Tlakové nádoby pro zkoušky injektáže jsou zpravidla rozebíratelné, takže celé injektované těleso lze vyjmout a použít pro tvarování zkušebních vzorků pro zkoušky fyzikálních a mechanických vlastností vytvořených geokompozitů. Výsledek měření injekčního tlaku při pokusu s injektáží polyuretanové pryskyřice CarboPur WF do prostředí rozdrcených karbonských břidlic v uzavřené tlakové nádobě je uveden na obr. 9.

Na obr. 9 lze sledovat nárůst tlaku během a po skončení injektáže (konec injektáže představuje označený bod na znázorněné křivce). Pevnost v prostém tlaku takto připraveného geokompozitu byla v rozmezí 1,8–4,0 MPa (obr. 10). Zkoušky vzorků geokompozitů v jednoosém tlaku ukázaly, že charakter deformačních křivek umožňuje rozdělit zkoušené materiály do několika skupin podle charakteru deformace, což souvisí s původním horninovým materiálem, druhem injekčního média a texturou vzorku. Všechny skupiny s rozdílnou pevností v tlaku se přitom vyznačují vysokým stupněm přetvárnosti za mezí porušení a vysokými hodnotami reziduální pevnosti. Na obr. 10 a 11 jsou uvedeny charakteristické deformační křivky zkoušek pevnosti geokompozitů v jednoosém tlaku. Obr. 10

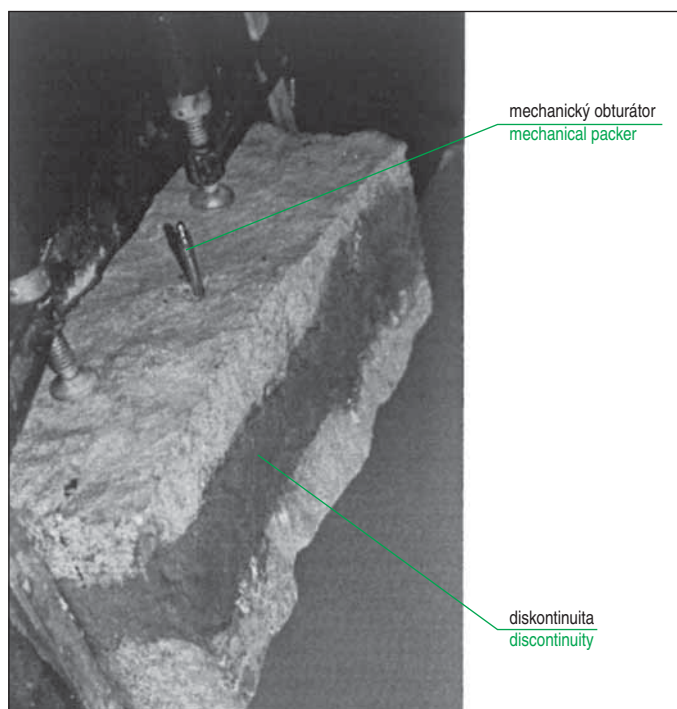


Obr. 11 Záznam zkoušky pevnosti v jednoosém tlaku – injekční hmota Bevedan-Bevedol / uhlí

Fig. 11 Recording of the uniaxial compressive strength test – Bevedan-Bevedol injection material / coal

carbonic shales strengthened by grouting of CarboPur WF, Fig. 11 shows a significantly stronger but brittle material formed by grouting of fragmentary carbonaceous carbon with Bevedan-Bevedol polyurethane resin.

In the case of hard rocks, discontinuities represent decisive influence of the stress and deformation processes in the massif and affect the stability and permeability of the rock massif with respect to liquids and gases. By applying the injection medium, it is possible to significantly influence the properties of discontinuities, and thus change their mechanical properties and reduce the permeability of the rock mass. In the area of hard rock grouting, where it is possible to spread the injection medium mainly along the areas of discontinuities (ie along to cracks, layered areas), or caverns, it is



Obr. 12 Příprava zkušebních těles s definovaným rozevřením trhliny

Fig. 12 Preparation of test specimens with defined crack opening

reprezentuje vysoce plastický geokompozit tvořený úlomkovitými karbonskými břidlicemi, zpevněnými injektáží hmotou CarboPur WF, obr. 11 ukazuje výrazně pevnější, ale křehký materiál, který vznikl injektáží úlomkovitého karbonského uhlí polyuretanovou pryskyřicí Bevedan-Bevedol.

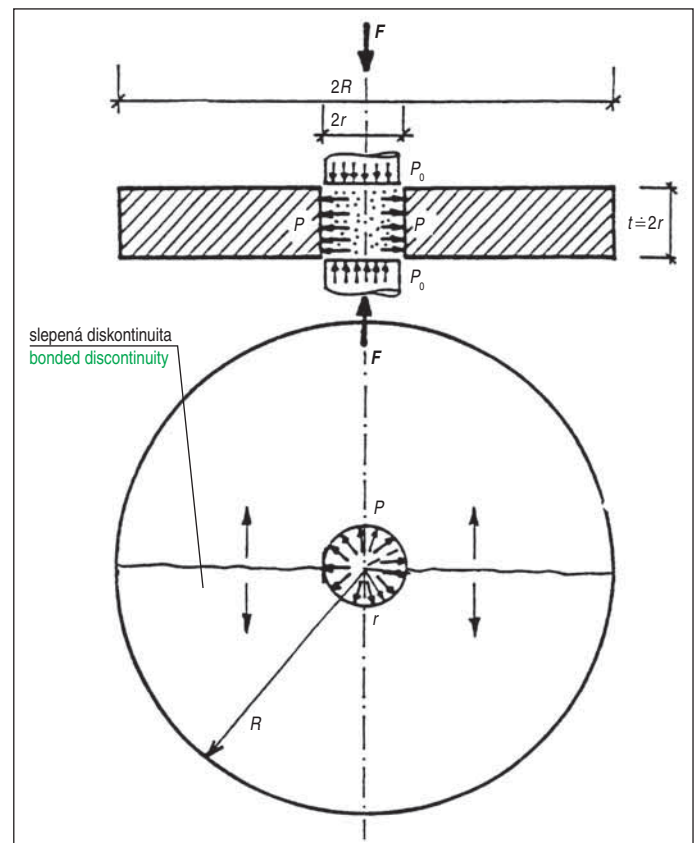
U skalních hornin jsou to právě diskontinuity, které rozhodujícím způsobem ovlivňují napětové a deformační děje v masivu a ovlivňují stabilitu a propustnost horninového masivu vzhledem ke kapalinám a plynům. Aplikací injektčního média lze výrazně ovlivnit vlastnosti diskontinuit, a tím změnit jejich mechanické vlastnosti a snížit propustnost horninového masivu. V oblasti injektování hornin skalního typu, kde je možné šíření injektčního média především podle ploch diskontinuit (tj. podle trhlin, vrstevních ploch), popř. kaveren, je potřeba znát pro zhodnocení výsledných účinků stabilizačních injektáží mechanické vlastnosti proinjektovaných trhlin v horninovém masivu. Pro srovnání a posouzení takto vzniklých geokompozitů, které jsou tvořeny systémy „hornina + diskontinuita vyplněná injektční hmotou + hornina“, jsou rozhodující adhezní vlastnosti injektčních médií k horninám při tahovém nebo stříhovém namáhání, proto je nutný jiný výběr zkušebních metod než u geokompozitů, které vzniknou proinjektováním zemin a nesoudržných hornin, kde je možné pro stanovení pevnostních a přetvárných parametrů s poměrně dobrými výsledky využívat zkoušky v jednoosém tlaku (jak již bylo uvedeno výše).

U zpevňujících injektčních hmot injektovaných do diskontinuitního prostředí se zjišťuje přídržnost k povrchu diskontinuit, resp. vlastnosti zainjektované plochy při různém namáhání. Ve vzorcích hornin (pro zkoušky byly používány jak sedimentární horniny – střednězrné až jemnozrné karbonské pískovce, tak vyvěřelé horniny – slezská žula – světlý jemnozrný biotitický granodiorit) je vytvořena řezáním nebo rozlomením umělá trhlina, která je vyplněná injektčním médiem. Horninový vzorek je lepen kontaktně nebo s definovaným rozevřením injektované trhliny (obr. 12), která může být v suchém nebo vlhkém stavu. Pro lepení hornin byly použity systémy CarboPur WF, CarboPur WFA a Bevedan-Bevedol (výše uvedené tři typy představují pryskyřice s minimální [cca 5–10 %] a výraznou [cca 100 %] změnou objemu při polymerizaci v suchém prostředí) a injektční pryskyřice Geoflex (nenapěňující organicko-minerální pryskyřice). Po vytvrzení injektční pryskyřice jsou na tělískách zjišťovány adhezní vlastnosti. Pro měření byly vybrány tři typy zkoušek, u kterých je zainjektovaná trhlina namáhána tahem a jeden typ zkoušky se stříhovým namáháním zainjektované diskontinuity. U tahových zkoušek byly použity jedna přímá metoda a dvě metody nepřímé:

- pevnost v prostém tahu (přímá metoda);
- pevnost v příčném tahu (Brazílská zkouška);
- pevnost v tahu sousými razníky v axiátoru.

U zkoušky v prostém tahu se na zkušební válcové těleso přenáší v jeho ose tahová síla působící kolmo na injektovanou trhlinu. U zkoušky v příčném tahu je trhlina ve válcovém vzorku orientována ve směru podélné osy. Vzorek je zatěžován tlakem v podstatě přímkovým zatížením podél okrajů trhliny. Toto zatížení způsobuje s výjimkou oblasti v bezprostřední blízkosti zatěžovací síly tahové namáhání trhliny. U zkoušky sousými razníky v axiátoru mají vzorky tvar disku, v jehož středu je vyřezán kruhový otvor s průměrem odpovídajícím průměru razníku. Trhlina prochází středem kotouče (obr. 13). Při zkoušce se středový otvor zaplní hmotou a tlakem sousých razníků se vyvodí tahové napětí, které poruší zainjektovanou trhlinu. Výpočet tahového napětí vychází z teorie napjatosti silnostěnných válcových nádob. Typický záznam průběhu zkoušky pod lisem je uveden na obr. 14.

Z důvodu nehomogenity a všeobecně nízké tahové pevnosti hornin v prostém tahu a dobré přídržnosti pryskyřic k použitým



Obr. 13 Schéma zkoušky adhezní pevnosti v tahu sousými razníky; zkušební horninový kotouč

Fig. 13 Scheme of adhesion tensile test of coaxial punches; test rock disc

necessary to know the mechanical properties of injected cracks in the rock mass to evaluate the resulting effects of stabilization grouting. The adhesion properties of injection media to rocks under tensile or shear stress are decisive for the comparison and assessment of the resulting geocomposites, which are formed by the systems “rock + discontinuity filled with grout + rock”, therefore a different choice of test methods is required than for geocomposites that arise by injecting soils and incoherent rocks, where it is possible to use tests in uniaxial pressure (as already mentioned above) to determine strength and deformation parameters with relatively good results.

In the case of strengthening injection materials injected into a discontinuous environment, the adhesion to the surface of the discontinuities, respectively properties of the injected surface at different stresses. In the rock samples (both sedimentary rocks – medium-grained to single-grained Carboniferous sandstones and igneous rocks – Silesian granite – light fine-grained biotite granodiorite were used for the tests), an artificial crack is created by cutting or breaking, which is filled with injection medium. The rock sample is bonded in contact or with a defined opening of the injected crack (Fig. 12), which can be in a dry or wet state. CarboPur WF, CarboPur WFA and Bevedan-Bevedol systems were used for rock bonding (the above three types represent resins with minimal [approx. 5–10%] and significant [approx. 100%] volume change during dry polymerization) and Geoflex injection resins. (non-foaming organic-mineral resins). After the injection resin has hardened, the adhesive properties are determined on the bodies. Three types of tests were selected for the measurement, in which the injected crack is subjected to tensile stress and one type of test with shear stress of the injected discontinuity. One direct method and two indirect methods were used for the tensile tests:

- simple tensile strength (direct method);
- transverse tensile strength (Brazilian test);
- tensile strength by coaxial punches in the axiator.

Tab. 1 Výsledné hodnoty adhezí k horninám; prostý tah – porušení v trhlíně

podmínky zkoušky (inj. médium, typ horniny, stav inj. trhliny)	adheze (MPa)	
	průměrná hodnota	směrodatná odchylka
CarboPur WF, pískovec řez, suchá, kontakt. lepení	2,80	0,68
CarboPur WF, pískovec řez, namočená, kont. lepení	0,44	0,18
Bevedan-Bevedol, pískovec řez, suchá, kontakt. lepení	2,47	0,72
Bevedan-Bevedol, pískovec řez, namočená, kont. lepení	0,25	0,14
Geoflex, pískovec řez, suchá, kontakt. lepení	4,50	0,87
CarboPur WF, žula řez, suchá, kontakt. lepení	2,37	0,07
CarboPur WF, žula řez, suchá, rozevření 2 mm	3,11	0,20
Bevedan-Bevedol, žula řez, suchá, kontakt. lepení	1,39	0,55
Geoflex, žula řez, suchá, kontakt. lepení	0,75	0,27
Geoflex, žula lom, suchá, kontakt. lepení	0,51	0,15
CarboPur WF, žula řez, namočená, kont. lepení	0,85	0,26
CarboPur WF, žula lom, namočená, kont. lepení	0,97	0,34

Tab. 2 Výsledné hodnoty adheze střednězrnného pískovce a tří různých injekčních směsí CarboPur WF, CarboPur WFA a Bevedan-Bevedol – zkouška v tahu sousými razníky

číslo zkoušky	adheze (MPa)		
	CarboPur WF	CarboPur WFA	Bevedan -Bevedol
1	3,0	3,4	2,3
2	3,4	3,0	2,3
3	2,9	3,3	2,4
4	2,9	3,2	3,2
5	3,9	2,2	2,5
6	3,0	3,4	3,2
7	4,1	3,8	2,7
8	3,4	3,2	2,4
průměrná hodnota	3,3	3,2	2,6
směrodatná odchylka	0,43	0,43	0,35

Tab. 3 Výsledné hodnoty zkoušek adhezí k horninám; příčný tah

podmínky zkoušky (inj. médium, typ horniny, stav inj. trhliny)	adheze (MPa)	
	průměrná hodnota	směrodatná odchylka
CarboPur WF, žula řez, suchá, kontakt. lepení	7,06	0,82
Bevedan-Bevedol, žula řez, suchá, kontakt. lepení	7,11	1,07
Geoflex, žula řez, suchá, kontakt. lepení	6,20	0,57
CarboPur WF, pískovec řez, suchá kontakt. lepení	6,51	1,00
Bevedan-Bevedol, pískovec řez, suchá kontakt. lepení	6,21	0,92

Table 1. Resulting values of adhesion to rocks; simple tension – failure in the crack

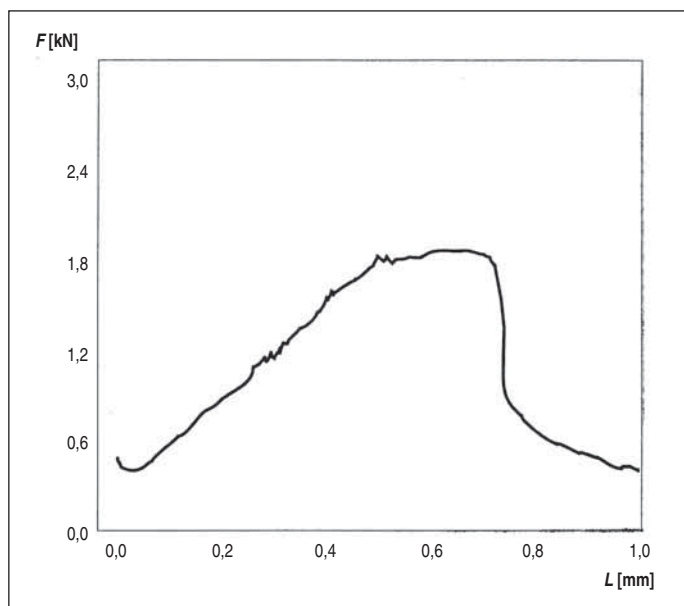
test conditions (inj. media, rock type, inj. crack state)	adhesion (MPa)	
	average value	standard deviation
CarboPur WF, sandstone cut, dry, contact bonding	2.80	0.68
CarboPur WF, sandstone cut, wet, contact bonding	0.44	0.18
Bevedan-Bevedol, sandstone cut, dry, contact bonding	2.47	0.72
Bevedan-Bevedol, sandstone cut, wet, contact bonding	0.25	0.14
Geoflex, sandstone cut, dry, contact bonding	4.50	0.87
CarboPur WF, granite cut, dry, contact bonding	2.37	0.07
CarboPur WF, granite cut, dry, opening 2mm	3.11	0.20
Bevedan-Bevedol, granite cut, dry, contact bonding	1.39	0.55
Geoflex, granite cut, dry, contact bonding	0.75	0.27
Geoflex, granite fracture, dry, contact bonding	0.51	0.15
CarboPur WF, granite cut, wet, contact bonding	0.85	0.26
CarboPur WF, granite fracture, wet, contact bonding	0.97	0.34

Table 2 Resulting values of adhesion of medium-grained sandstone and three different injection mixtures CarboPur WF, CarboPur WFA and Bevedan-Bevedol – tensile test with coaxial punches

test Nr.	adhesion (MPa)		
	CarboPur WF	CarboPur WFA	Bevedan -Bevedol
1	3.0	3.4	2.3
2	3.4	3.0	2.3
3	2.9	3.3	2.4
4	2.9	3.2	3.2
5	3.9	2.2	2.5
6	3.0	3.4	3.2
7	4.1	3.8	2.7
8	3.4	3.2	2.4
average value	3.3	3.2	2.6
standard deviation	0.43	0.43	0.35

Table 3: Resulting values of adhesion to rocks; transversal tension

test conditions (inj. media, rock type, inj. crack state)	adhesion (MPa)	
	average value	standard deviation
CarboPur WF, granite cut, dry, contact bonding	7.06	0.82
Bevedan-Bevedol, granite cut, dry, contact bonding	7.11	1.07
Geoflex, granite cut, dry, contact bonding	6.20	0.57
CarboPur WF, sandstone cut, dry, contact bonding	6.51	1.00
Bevedan-Bevedol, sandstone cut, dry, contact bonding	6.21	0.92



Obr. 14 Průběh zatěžovací síly u adhezní tahové zkoušky souosými razníky
Fig. 14 Course of loading force in the adhesion tensile test by coaxial punches

horninám nebyla vždy měřena pouze adhezní pevnost, ale často spíše tahová pevnost hornin na nestandardních zkušebních tělesech. Proto výsledky zkoušek tahových adhezí byly rozděleny do dvou skupin:

1. na skupinu zkoušek, kdy došlo k porušení vzorků v zainjektované trhlině s vytržením cca do 10 % horniny z plochy slepené diskontinuity, v těchto případech je možné konstatovat, že byla měřena adheze pryskyřic k horninám (tab. 1);
2. ve druhé skupině zkoušek byly zahrnuty případy, kdy došlo k porušení vzorků mimo lepený spoj nebo bylo vytrženo cca 10–100 % horniny z plochy zainjektované diskontinuity, v důsledku čehož byla měřena tahová pevnost použitých hornin. Tyto zkoušky proto byly ze studie vyloučeny.

Stejně tak u adhezí zjišťovaných pomocí zkoušky v příčném tahu a zkoušky v tahu souosými razníky nebyly brány v úvahu výsledky testů, u kterých došlo k porušení mimo slepenou diskontinuitu, tyto zkoušky byly považovány rovněž za neplatné.

Výsledné hodnoty adhezí výše uvedených platných zkoušek jsou uvedeny v tab. 1–3.

Zjištěné poznatky a výsledky tahových adhezních pevností výše uvedených injekčních pryskyřic lze shrnout takto:

- Výsledné hodnoty adhezí v příčném tahu jsou výrazně vyšší než výsledné hodnoty adhezí zjištěné v prostém tahu, což je pravděpodobně způsobeno skutečností, že příčný tah je metoda nepřímá a příčný tah ve vzorku je vyvozován ve směru kolmém tlakovým napětím. Tento typ zkoušky prokázal, že hodnoty adhezních pevností dosahují cca 50–70 % průměrné hodnoty pevnosti v příčném tahu zjištěných na neporušených horninových zkušebních těliscích, provedených ve srovnatelných podmínkách.
- Z tab. 1 je zřejmé, že adhezní pevnosti výrazně klesají se zvýšenou vlhkostí injektovaných diskontinuit a pohybují se pod hranicí 1 MPa, u těchto vzorků došlo ve všech případech k porušení v ploše trhliny.
- Je zřejmé, že na hodnoty adhezí má vliv kvalita ploch injektovaných diskontinuit, u zkoušek provedených na vzorcích s diskontinuitou vzniklou lomem (vyšší drsnost povrchu trhliny) docházelo převážně k porušení v zainjektované hornině, a proto v těchto případech byly vykazovány vyšší hodnoty tahových

In the simple tensile test, a tensile force acting perpendicular to the injected crack is transmitted to the test cylindrical body in its axis. In the transverse tensile test, the crack in the cylindrical specimen is oriented in the direction of the longitudinal axis. The specimen is loaded with a pressure by a substantially linear load along the edges of the crack. With the exception of the area in the immediate vicinity of the loading force, this load causes a tensile stress on the crack. In the test of coaxial punches in an axiator, the samples have the shape of a disc in the center of which a circular hole with a diameter corresponding to the diameter of the punch is cut. The crack passes through the center of the disk (Fig. 13). During the test, the central hole is filled with mass and a tensile stress is applied by the pressure of the coaxial punches, which breaks the injected crack. The calculation of the tensile stress is based on the stress theory of thick-walled cylindrical vessels. A typical record of the test under the press is shown in Fig. 14.

Due to the non-homogeneity and generally low tensile strength of rocks in simple tensile strength and good adhesion of resins to used rocks, not only the adhesive strength was always measured, but often rather the tensile strength of rocks on non-standard test specimens. Therefore, the results of tensile adhesion tests were divided into two groups:

1. for a group of tests where the samples were broken in an injected crack with up to about 10% of the rock torn out of the bonded discontinuity area, in these cases it can be stated that the adhesion of resins to rocks was measured (Table 1);
2. the second group of tests included cases where the samples were broken outside the bonded joint or about 10–100% of the rock was torn from the area of the injected discontinuity, as a result of which the tensile strength of the used rocks was measured. These tests were therefore excluded from the study.

Similarly, for the adhesions determined by the transverse tensile test and the coaxial punch tensile test, the results of the tests in which the failure occurred outside the bonded discontinuity were not taken into account, these tests were also considered invalid.

The resulting adhesion values of the above valid tests are given in Table 1–3.

The findings and the results of the tensile adhesive strengths of the above injectable resins can be summarized as follows:

- The resulting values of transverse tensile adhesions are significantly higher than the resulting values of adhesions found in simple tensile, which is probably due to the fact that transverse tensile is an indirect method and transverse tensile in the sample is derived in the direction perpendicular to compressive stress. This type of test has shown that the values of adhesion strengths reach approximately 50–70% of the average value of transverse tensile strength found on intact rock test specimens, performed under comparable conditions.
- From Table 1 it is clear that the adhesive strengths decrease significantly with increased humidity of the injected discontinuities and are below the limit of 1 MPa, in these cases there was a failure in the crack area in all cases.
- It is obvious that the adhesion values are affected by the quality of the surfaces of injected discontinuities, in tests performed on samples with discontinuity caused by fracture (higher crack surface roughness) there was mostly failure in the injected rock, and therefore higher values of tensile adhesion strengths were reported in these cases than for samples with a cut crack.
- Based on the first results of the adhesion values measured on the samples with a crack with a larger opening, it can be stated that these values are comparable with the values found on the samples that were bonded in contact.
- It is clear from the test results that the organic-mineral resin Geoflex has significantly lower values of adhesion to granite than

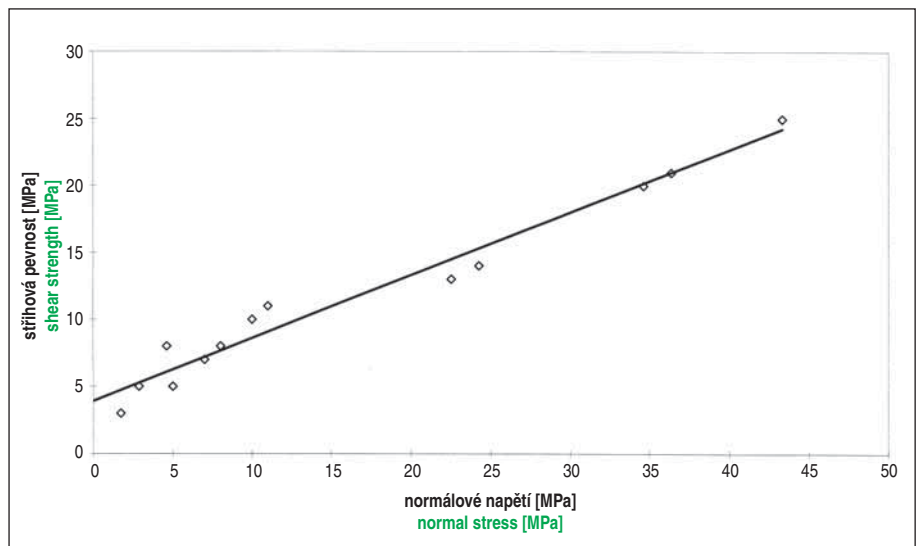
adhezních pevností, než je tomu u vzorků s trhlinou vzniklou řezáním.

- Na základě prvních výsledků hodnot adheze měřených na vzorcích s trhlinou s větším rozevřením lze konstatovat, že tyto hodnoty jsou srovnatelné s hodnotami zjištěnými na vzorcích, které byly slepeny kontaktně.
- Z výsledků zkoušek je zřejmé, že organicko-minerální pryskyřice Geoflex má výrazně nižší hodnoty adheze k žule než k pískovci (cca 6x), což může být pravděpodobně způsobeno horší nasákavostí žuly, než je tomu u pískovců.
- Ze srovnání adhezí u polyuretanových pryskyřic v prostém tahu vyplývá, že o něco vyšší hodnoty adhezí vykazují vzorky zainjektované pryskyřicí s nižší schopností napěňovat v suchém prostředí (CarboPur WF), což je v souladu s poznatkami o vlivu stupně napěnění na mechanické vlastnosti vytvrzených pryskyřic.
- Na rozdíl od stříhových adhezních pevností lze u tahových adhezí konstatovat mírný nárůst hodnot pevností směrem k jemnozrnnějším horninám cca o 15–20 %.
- Ze srovnání naměřených hodnot pevností v prostém tahu zjišťovaných na nezainjektovaných rozměrově identických žulových zkušebních tělesech a adhezních pevností v prostém tahu injektovaných pryskyřic v žule vyplývá:
 - Hodnoty adhezí polyuretanových pryskyřic ve vzorcích se zainjektovanou trhlinou v suchém stavu dosahují cca 30–60 % průměrné tahové pevnosti horniny.
 - Hodnoty adhezí polyuretanových pryskyřic ve vzorcích se zainjektovanou trhlinou ve vlhkém stavu dosahují cca 18–20 % průměrné tahové pevnosti horniny.
 - Hodnoty adhezí organicko-minerální pryskyřice ve vzorcích se zainjektovanou trhlinou v suchém stavu dosahují cca 11–18 % průměrné tahové pevnosti horniny.

Z provedených laboratorních zkoušek, které byly prováděny na karbonických horninách (jemnozrnné až hrubozrnné pískovce a drobnozrnné slepence) slepených dvousložkovými polyuretanovými pryskyřicemi CarboPur WF a Bevedan-Bevedol vyplývá, že hodnoty adheze polyuretanových injektovaných hmot ke karbonickým horninám zjišťované Brazílskou zkouškou se podle typu horniny a injektivního média pohybují v rozmezí 5,6–7,1 MPa, což jsou srovnatelné hodnoty s hodnotami na spodní hranici rozpětí tahových pevností karbonických hornin.

Z výsledných hodnot adhezních stříhových pevností byly sestaveny mezní přímkové adhezních stříhových pevností karbonických hornin se zainjektovanou diskontinuitou (obr. 15). Z těchto přímků lze v prvním přiblížení usuzovat na stříhové pevnosti při různých hodnotách normálových napětí ve slepené diskontinuitě a na „čistotu stříhovou pevnost“ (při nulovém normálovém napětí ve stříhové ploše), tato hodnota je pouze orientační a musí být v příštím období zpřesněna dalšími zkouškami. Hodnoty „čistých stříhových pevností“ se pohybovaly v rozmezí 3,9–8,4 MPa. Ve srovnání se stříhovou pevností neporušené horniny dosahují pevnosti injektované trhliny 50–80 %.

Z výsledku provedeného laboratorního výzkumu je zřejmé, že stabilizační a těsnicí injektáže horninového masivu prováděné pomocí chemických injektivních médií mají a budou mít svou nezastupitelnou úlohu v řešení mnoha geotechnických problémů v praxi. Poznátka



Obr. 15 Mezní přímková adhezní stříhové pevnosti horniny (střednězrnný až hrubozrnný pískovec) se zainjektovanou diskontinuitou v závislosti na normálovém napětí, injektivní hmota Bevedan-Bevedol

Fig. 15 Boundary line of the adhesive shear strength of the rock (medium-grained to coarse-grained sandstone) with injected discontinuity depending on the normal stress, Bevedan-Bevedol injection resin

to sandstone (approx. 6 times), which can probably be caused by poorer absorbency of granite than in sandstone.

- Comparing adhesions of polyurethane resins in simple tension results that samples injected with a resin having lower ability to expand in dry environment (CarboPur WF) show slightly higher adhesion values, what is in line with the findings of the influence of foaming factor to mechanical properties of cured resins.
- In contrast to shear adhesion strengths, tensile adhesions show a slight increase in strength values towards finer-grained rocks by about 15–20%.
- A comparison of the measured values of tensile strengths found on non-injected dimensionally identical granite test specimens and adhesion tensile strengths of injection resins in granite shows:
 - The adhesion values of polyurethane resins in samples with injected crack in the dry state reach approx. 30–60% of the average tensile strength of the rock.
 - The adhesion values of polyurethane resins in samples with injected crack in the wet state reach approx. 18–20% of the average tensile strength of the rock.
 - The adhesion values of the silicate resin in the samples with the injected crack in the dry state reach approx. 11–18% of the average tensile strength of the rock.

Laboratory tests performed on carbonaceous rocks (fine-grained to coarse-grained sandstone and fine-grained conglomerate) bonded with two-component polyurethane resins CarboPur WF and Bevedan-Bevedol show that the adhesion values of polyurethane injection materials to carbonaceous rocks determined by the Brazilian test the media are in the range of 5,6–7,1 MPa, which are comparable values with the values at the lower limit of the range of tensile strengths of carbonaceous rocks.

From the resulting values of adhesive shear strengths, boundary lines of adhesive shear strengths of carbonaceous rocks with injected discontinuity were constructed (Fig. 15). From these lines, in the first approximation it is possible to deduce the shear strength at different values of normal stresses in bonded discontinuity and the "net shear strength" (at zero normal stress in the shear surface), this value is only indicative and must be specified in the next period by further tests. The values of "net shear strength" ranged from 3,9 to 8,4 MPa. Compared to the shear strength of intact rock, the strength of the injected crack reaches 50–80%.

uvedené v tomto příspěvku svědčí o tom, že laboratorní výzkum chemických injekčních hmot a geokompozitů je v neustálém vývoji a v mnoha případech vyžaduje přístupy rozdílné od standardních laboratorních metod v mechanice hornin. Skupina MINOVA a Minova Bohemia úzce spolupracují při dalším vývoji těchto metod s výzkumnými centry.

ZÁVĚR

Výsledky měření prezentované v článku, provedené na vzorcích a geokompozitech, dokazují významný přínos chemických injekčních materiálů pro zlepšení pevnostních a přetvárných vlastností porušených hornin a nesoudržných zemin. Díky vysokým hodnotám adheze, vysoké tlakové, ale především tahové pevnosti a pružně-plastickému chování těchto materiálů při zatížení, lze technologicky správným procesem injektáží docílit významného navýšení smykové a tahové pevnosti horninového prostředí. Současně je těchto parametrů dosahováno v relativně krátkém čase, a to díky rychlosti vytvrzování chemických injekčních materiálů.

Přes jejich celkovou univerzálnost z pohledů různých aplikací je nutno podotknout, že chemické injekční směsi nebyly vyvinuty jako náhrada konvenčních minerálních směsí, ale jako jejich doplnění pro situace, ve kterých je výkon minerálních směsí nedostatečný nebo nejistý. Příkladem může být podzemní výstavba a stabilizace deformací horniny v přímém nadloží odlehčeném ražbou nebo stabilizace horniny, kdy je v puklinovém systému přítomna tlaková voda. V těchto a v podobných případech jsou to právě chemické injekční materiály, které zajišťují zvýšenou bezpečnost a významně eliminují rizika spojená s nestabilitou prostředí nebo s přítoky vod do podzemního díla. V obecné rovině lze konstatovat, že potřeba těchto materiálů na stavbách roste v přímé úměře se zhoršujícími se geotechnickými a hydrogeologickými podmínkami.

*Ing. PETR KUČERA,
Ing. ADAM JANÍČEK,
Ing. MIROSLAV FRANTES
Minova Bohemia s.r.o.*

Recenzoval *Reviewed: doc. Ing. Richard Šňupárek, CSc.*

It is clear from the results of the laboratory research that stabilization and sealing injection of rock masses performed using chemical injection media have and will have their irreplaceable role in solving many geotechnical problems in practice. The findings presented in this paper suggest that laboratory research on chemical injection materials and geocomposites is constantly evolving and in many cases requires approaches different from standard laboratory methods in rock mechanics. The Minova Group and Minova Bohemia work closely with research centers to further develop these methods.

CONCLUSIONS

The results of the measurements presented in the article, performed on samples and geocomposites, prove the significant contribution of chemical injection materials for the improvement of strength and deformation properties of damaged rocks and incoherent soils. Thanks to the high values of adhesion, high compressive, but above all tensile strength and elastic-plastic behaviour of these materials under load, a technologically correct process of grouting can achieve a significant increase in shear and tensile strength of the rock environment. At the same time, these parameters are achieved in a relatively short time, thanks to the curing speed of chemical injection materials.

Despite their overall versatility in terms of different applications, it should be noted that chemical injection mixtures were not developed as a substitute for conventional mineral mixtures, but as a supplement to them in situations where the performance of mineral mixtures is insufficient or uncertain. Examples are underground construction and stabilization of rock deformations in a direct overburden relieved by excavation or rock stabilization, where pressurized water is present in the fracture system. In these and similar cases, exactly chemical injection materials ensure increased safety and significantly eliminate the risks associated with environmental instability or water inflows into the underground work. In general, it can be stated that the need for these materials on construction sites is growing in direct proportion to deteriorating geotechnical and hydrogeological conditions.

*Ing. PETR KUČERA,
Ing. ADAM JANÍČEK,
Ing. MIROSLAV FRANTES
Minova Bohemia s.r.o.*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] WIDMANN, R. (koordinátor) Commission on Rock Grouting. *Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 1996, Vol. 33 No. 8, pp. 803–847
- [2] JANÍČEK, D., ŠŇUPÁREK, R., SOUČEK, K. *Nové typy injektážních materiálů pro podzemní stavitelství*. Sborník konference Geotechnika 97. Slovensko – Podbánské, 1997, str. 69–75
- [3] ŠŇUPÁREK, R., MARTINEC, P., SOUČEK, K. *Přetvárné vlastnosti polyuretanových injektážních pryskyřic a geokompozitů*. Sborník příspěvků 4. mezinárodního semináře – Zpevňování a těsnění hornin a stavebních konstrukcí injektážemi a kotvením. VŠB TU, Ostrava, 1999, str. 72–78
- [4] ŠŇUPÁREK, R., SOUČEK, K. Laboratorní zkoušky chemických injektážních hmot. *Tunel*, 1999, 8, 4, str. 45–51
- [5] SOUČEK, K., ŠIMKOVIČOVÁ, J. *Viskozita dvousložkových injektážních pryskyřic*. Sborník konference Hornická Příbram ve vědě a technice, sekce S. Příbram, 1998
- [6] SOUČEK, K., ŠŇUPÁREK, R., ŠIMKOVIČOVÁ, J. *Injektážní pryskyřice a jejich adhezivní pevnosti*. Sborník konference Geotechnika 2000. Slovensko – Podbánské, 2000
- [7] ŠŇUPÁREK, R., SOUČEK, K. Chemické stabilizační injektáže horninového masivu. *Uhlí, rudy a geologický průzkum*, 2000, 48, 6, str. 14–18
- [8] SOUČEK, K., STAŠ, J. *Měření propustnosti geokompozitů na ortogonálních zkušebních tělesech*. Zpevňování, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí 2009. VŠB-TU Ostrava, 2009, str. 120–126
- [9] NAJDER, T. *Rock grouting using PUR in extreme geological conditions on Iceland – road tunnel Vaðdlaheiðagöng*. Zpevňování, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí 2016. VŠB-TU Ostrava, 2016, str. 83–88
- [10] UTKO, S. *Evaluation of mining adhesives used for sealing strata based on laboratory tests*. Zpevňování, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí 2017. VŠB-TU Ostrava, 2017, str. 154–158

PROJEKTOVÁNÍ A REALIZACE KOMBINOVANÉ VÝZTUŽE PŘI RAŽBĚ DŮLNÍ CHODBY Č. 400 042 V EXTRÉMNÍCH TLAKOVÝCH PODMÍNKÁCH V OKD, A.S. DESIGN AND IMPLEMENTATION OF COMBINED SUPPORT DURING THE EXCAVATION OF THE MINING GATE NO. 400 042 IN EXTREME PRESSURE CONDITIONS IN OKD, INC.

PETR ČADA, PAVEL DVOŘÁK, JIŘÍ GOLASOWSKI, ZDENĚK SEMBOL

ABSTRAKT

Mimořádné okolnosti roku 2019 způsobené přerušением dobývání porubu 400 000 v prostoru nulté dobývací kry lokality ČSM Sever vedly společnost OKD, a.s. k nutnosti provedení změn v koncepci ražeb v oblasti. Pro zabezpečení včasné přípravy vedlejšího porubního bloku 400 002 bylo rozhodnuto o neplánovaném dřívějším vyrazení budoucí výdušné chodby 400 042 v celé délce. Pro zvýšení únosnosti části chodby v budoucnu negativně ovlivněné dokopáváním porubu 400 000 bylo rozhodnuto o ražbě chodby s využitím vrtacího vozu ANDRIBOT v kombinaci s razičím kombajnem AM 50 a čerpadlem vysokopevnostních cementových směsí PUMA pro vyplňování rukávců nebo vaků po obvodu díla, tzv. bullflexová technologie.

ABSTRACT

Extraordinary circumstances in 2019 caused by the interruption of the mining of the longwall panel 400 000 in the mining area „0” of the ČSM Sever Mine led OKD, Inc. to the need to make changes in the concept of excavations in the area. In order to ensure the timely preparation of the adjacent longwall panel 400 002, it was decided on the earlier unplanned excavation of the future tailgate 400 042 in its entire length. To increase the load-bearing capacity of a part of the gate support negatively affected by digging a 400 000 longwall panel in the future, it was decided to excavate the gate using an ANDRIBOT drill rig in combination with an AM 50 excavator and a PUMA mixture pump for high strength cementitious grouts to fill sleeves or bags around the perimeter, so called BULLFLEX technology.

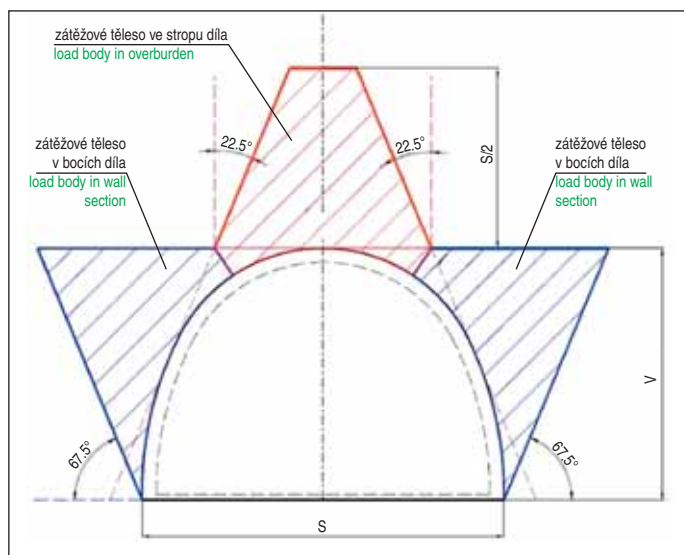
1. PROJEKTOVÁNÍ KOMBINOVANÉ VÝZTUŽE V PODMÍNKÁCH OKD

Dobývání černého uhlí se na Ostravsku a Karvinsku provádí již více než 200 let. Za tu dobu došlo k vydobytí desítek slojí v rozsáhlých plochách a těžba dnes v rámci společnosti OKD a.s. pokračuje v daleko složitějších báňsko-technických podmínkách. Hloubka dobývání již přesáhla běžně 1100 metrů pod povrchem, dobývá se často ve slojích ohrožených důlními ořesy, na okrajích dobývacích prostorů v přímé blízkosti významných tektonik, v ochranných pilířích jam, ve vlivech přídatných napětí od hran nadložních nebo vedlejších porubů. To vše má za následek zvyšování výsledné napjatosti v horninovém masivu a vede k nutnosti systematického zavádění opatření pro zvýšení stability důlních děl. Zhušťování budování TH výztuže nebo zvyšování jejího hmotnostního stupně se ukázalo jako příliš nákladné, a ne vždy zcela účinné řešení. Proto se hledalo nové, kvalitativně odlišné řešení. Tímto řešením se na základě zkušeností získaných po roce 2000 v RAG v Německu ukázalo použití tzv. kombinované výztuže. Podstatou této metody je zabezpečení spolupůsobení ocelové obloukové podpěrné výztuže se zpevňujícími účinky svorníkové výztuže. Toto spolupůsobení je zajišťováno rukávcí, případně vaky vyplněnými vysokopevnostní, rychletuhnoucí cementovou směsí (20 MPa). Na základě výpočtu dimenzování kombinované výztuže, který byl vytvořen v roce 2012 na požadavek OKD, a.s. Ústavem geoniky AV ČR v Ostravě [1], je nyní možné ve fázi projekce rozvolnit optimální hustotu svorníkování a budování standardní únosnosti ocelové obloukové výztuže (dále OOV) a získat tím materiální úsporu při zvýšení únosnosti výztuže.

Původně byla kombinovaná výztuž navržena pro porubní chodby na tzv. dvojí použití, tedy pro porubní chodby, které při prvním po-

1. DESIGN OF COMBINED SUPPORT IN OKD CONDITIONS

Black coal mining has been carried out in the Ostrava and Karviná regions for more than 200 years. During that time, dozens of seams were mined in large areas and mining today within the company OKD Inc. continues in far more complex mining and technical conditions. The depth of mining has already exceeded 1100 meters below the surface, it is often mined in seams endangered by rock and coal bursts, on the edges of mining areas in the immediate vicinity of important tectonics, in protective pillars of shafts, under the influence of additional stresses from overlying or adjacent mine workings. All this results in an increase of stress in the rock mass and leads to the need for systematic implementation of measures to increase the stability of mine workings. Decreasing the spacing of TH support or increasing its weight grade has proven to be too costly and not always completely effective. Therefore, a new, qualitatively different solution was sought. Based on the experience gained after year 2000 at RAG in Germany, this solution has shown the use of so-called combined support. The essence of this method is to ensure the interaction of the steel arch support with the reinforcing effects of the bolt support. This interaction is ensured by sleeves or bags filled with a high-strength, fast-setting cement mixture (20MPa). Based on the calculation of the dimensioning of the combined support, which was created in 2012 at the request of OKD, Inc. by the Institute of Geonics of the ASCR in Ostrava [1], it is now possible in the design phase to loosen the optimal bolt density and build the standard bearing capacity of steel arch support (hereinafter SAS) and thus obtain material savings when increasing support effect.



Obr. 1 Zátěžové těleso pro dimenzování kombinované výztuže [1]
Fig. 1 Load body for dimensioning of combined support [1]

užití jsou chodbami těžními (úvodními) a při druhém použití slouží pro druhý porub jako chodby výdušné (dopravní). Vzhledem k nutnosti chodby udržet pro dva poruby byla vyvinuta právě kombinovaná výztuž. K ní byla vydána metodika [2] – díky své funkčnosti se tato metoda projektování s úspěchem používá nejen pro chodby pro dvojí využití, ale i pro chodby vedené v obtížných báňsko-technických podmínkách.

Dimenzování kombinované výztuže vychází z působení vertikálního a horizontálního napětí v konkrétních podmínkách. Tyto mechanismy porušování jsou závislé na skutečném horninovém napětí a vlastnostech hornin, které způsobují vznik zóny trhlin v okolí důlní chodby. Oblasti porušení jsou vymezeny tečnami k obloukovému profilu hrubého výlomu pod úhlem cca 67,5° (obr. 1). Výška zátěžové klenby se ve výpočetním modelu volí na základě hodnocení průvodních hornin a jejich případného dodatečného ovlivnění a tím i porušení. Při dobývání je nutné na základě dodatečného ovlivnění a s tím spojeného porušení horninového tělesa volit výšku zátěžové oblasti min. 0,5×S (tj. šířky hrubého výlomu). Výztuž má za úkol zajistit takto vymezenou oblast, která je základem pro dimenzování svorníkové výztuže porubní chodby. Při výpočtu svorníkové výztuže jsou uvažovány jen ty svorníky, které zajišťují porušenou oblast a umožňují její dostatečné ukotvení v pevném horninovém masivu. Jako základ pro výpočet svorníku je bráno namáhání složené z tahu a smyku:

$$F_A = \frac{F_{\max}}{\sqrt{1 + 2 \times \sin^2 \alpha}},$$

kde:

- F_A vypočtená únosnost svorníků [KN],
- F_{\max} únosnost navrženého svorníku [KN], vypočtená jako průměr tahové únosnosti svorníku na mezi pevnosti a na mezi kluzu, která je garantována výrobcem,
- α směr zatížení [°] (úklon svorníku od svislice).

2. GENEZE PROJEKTU RAŽBY Č. 400 042

Základní plány otírky a dobývání ložisek v nejsevernější části „Dobývacího prostoru Louky“, spadajícího organizačně v OKD, a.s. do lokality ČSM Sever do tzv. „0.“ kry, jsou limitovány především tektonicky poruchou „X“ a ochranným pásmem státní hranice s Polskem. Z pohledu geomechanického je nutné respektovat časoprostorová omezení, neboť hornická činnost v této oblasti je vedena ve 3. stupni nebezpečí důlních otlahů. Kromě toho je nutné počítat s limity z pohledu důlního větrání, kapacity odtěžení, logistiky a dal-

Originálně, the combined support was designed for longwall gates for so-called dual use, ie for longwall gates, which in the first use are main gates and in the second use they serve as tailgates. Due to the need of keeping the gate for two openings, a combined support was developed. A methodology was issued for it [2] – thanks to its functionality, this design method is successfully used not only for dual-use gates, but also for gates led in difficult mining and technical conditions.

The dimensioning of the combined support is based on the action of vertical and horizontal stress in specific conditions. These failure mechanisms depend on the actual rock stress and rock properties that cause a crack zone forming around the mine gate. The failure areas are defined by tangents to the arc profile of the rough excavation at an angle of about 67.5° (Fig.1). The height of the load vault is chosen in the computational model on the basis of the evaluation of the accompanying rocks and their possible additional influence and thus failure. When mining, it is necessary to choose the height of the load area min. 0.5×S (ie width of rough excavation). The purpose of the support is to provide stability in such defined area, which is the basis for dimensioning the bolt support of the longwall gate. When calculating the bolt support, only those bolts are considered that secure the broken area and allow its sufficient anchoring in the solid rock mass. The stress composed of tensile and shear stress is taken as the basis for the bolt calculation:

$$F_A = \frac{F_{\max}}{\sqrt{1 + 2 \times \sin^2 \alpha}},$$

where:

- F_A calculated load capacity of bolt [kN],
- F_{\max} load capacity of the designed bolt [kN], calculated as the average of the tensile load capacity of the bolt at the yield strength and at the yield point, which is guaranteed by the manufacturer,
- α direction of load [°] (inclination of bolt from vertical axis).

2. GENESIS OF THE TAILGATE EXCAVATION NO. 400 042

Basic plans for the opening and mining of deposits in the northernmost part of the “Louky Mining Area”, which falls organizationally in OKD, Inc. to the ČSM Sever Mine to the so-called “0.”, they are limited mainly tectonically by the “X” fault and the protection zone of the state border with Poland. From a geomechanical point of view, it is necessary to respect the spatio-temporal constraints, as mining activity in this area is conducted in the 3rd degree of mining rock bursts hazard. In addition, we must take into account the limits in terms of mine ventilation, extraction capacity, logistics and more. In 2019, however, an extraordinary event of a safety-operational nature (self-ignition in the collapse zone of the mined longwall panel 400 000) entered into these geological-safety, technical and spatio-temporal connections in a fundamental way. The operated block had to be stopped, secured, explosion-proof sealed and actively inertized. This unplanned occasion completely changed the original plan of the mining activity concept consisting in the timing and method of preparation of the longwall panel 400 002. It was decided to adopt extraordinary design changes that would ensure the timeliness of the preparation for longwall panel 400 002 (project II° Ev. No. OPV 145/2019 for excavation No. 400 042 and No. 400 042P). This change consisted in the commencement of the excavation of the future tailgate No. 400 042 from the area in front of the excavation site of the now closed panel No. 400 000 (Fig. 2).



Obr. 2 Výsek důlní mapy ražby č. 400 042 a č. 400 042P [3]

Fig. 2 Section of mining map of excavation No. 400 042 and No. 400 042P [3]

šími. V roce 2019 však do těchto geologicko-bezpečnostních, technických a časoprostorových vazeb zásadním způsobem vstoupila mimořádná událost bezpečnostně-provozního charakteru (samozvnicení v závalové části dobývaného porubu 400 000). Provozovaný porub musel být zastaven, zajištěn, výbuchovzdorně uzavřen a aktivně inertizován. Tento neplánovaný vstup zcela změnil původní plán koncepce hornické činnosti spočívající v časování a způsobu přípravy porubního bloku 400 002. Bylo rozhodnuto o přijetí mimořádných projekčních změn, které by umožňovaly zajistit včasnost přípravy porubu 400 002 (projekt II° Ev. č. OPV 145/2019 pro ražbu č. 400 042 a č. 400 042P). Tato změna spočívala v zahájení ražby budoucí výdušné chodby č. 400 042 z prostoru před místem dokopání nyní uzavřeného porubu č. 400 000 (obr. 2).

Na základě pozitivních zkušeností se svorníkovou výztuží bylo navrženo ražení v kombinované výztuži s využitím vrtacího vozu ANDRIBOT a razičího kombajnu AM-50. Pro zajištění aktivace podpěrné funkce obloukové výztuže byla navržena technologie zabezpečující kontakt horninového masivu s OOV po celém jejím obvodu za pomoci vyplňování volných prostorů za výztuží rukávci, případně vaky vyplňovanými rychletuhnoucí, okamžitě nosnou, vysokopevnostní cementovou směsí ADIBET W 40 tzv. BULLFLEX. Klíčem k provedení tak závažného rozhodnutí byla zkušenost se svorníkovacím zařízením ANDRIBOT z let 2018–2019. Po teoretickém prověření možnosti vzájemného prostorového míjení se důlní mechanizace – razičího kombajnu AM-50, manipulační lokomotivy Šaman a vrtacího stroje ANDRIBOT (obr. 3, 4) bylo rozhodnuto o jeho nasazení.

2.1 Vybrané základní údaje k ražbě v obloukové výztuži

- důlní dílo č. 400 042;
- délka díla cca 320 m;
- druh výztuže ocelová oblouková;
- hmotnostní stupeň TH 29;
- profil díla SPN 14/4, výklenky SPN 16/4;
- osová vzdálenost 0,5 m do st. 235 m, dále 0,667 m;
- technologie rozpojování razičí kombajn AM 50/132 VAB;
- mocnost sloje 3–9 m (ražba vedena pod stropem sloje);
- předpokládaný úklon díla průměrně 4°.

Based on the positive experience with bolt support, mining in combined support was designed using the ANDRIBOT drill rig and the AM-50 heading machine. To ensure the activation of the supporting function of the arch support, a technology called BULLFLEX was designed to ensure the contact of the rock mass with the SAS around its entire perimeter by filling the voids behind the support with sleeves or bags filled with fast-setting, immediately load-bearing, high-strength ADIBET W 40 cement mixture. The key to making such a serious decision was the experience with the ANDRIBOT drill rig from 2018–2019. After a theoretical evaluation of the possibility of mutual spatial passing of the mining mechanization – the AM-50 heading machine, the ŠA-MAN-01 handling locomotive and the ANDRIBOT drill rig (Fig. 3, 4) was decided to use it.

2.1 Selected basic data for excavation in arch support

- tailgate No. 400 042;
- length circa 320m;
- support type steel arches;
- weight class TH 29;
- cross section SPN 14/4, adits SPN 16/4;
- support spacing 0.5m till chainage 235m, furthermore 0.667m;
- excavation technology heading machine AM 50/132 VAB;
- seam thickness 3–9m (excavation led below the seam roof);
- expected inclination average 4°.

2.2 Selected basic data for bolting

- steel reinforcing bolt APB-1K, load capacity 285kN, length 2.8m;
- glassfiber bolt RockBolt K60-27, load capacity of thread with plate 70kN, length 2.5m;
- strand bolt IR-6ER, load capacity 450kN, length 12m;
- spacing (axial) 1m;
- spacing (circumferential) circa 1.5m;
- pattern checkered;
- number of bolts 6 pcs/m;
- cartridges Lokset HS Fast and Slow 24mm according to design.

Bolt support was considered an integral part of the work's support. Its implementation was closely connected with the cyclical securing of the front and the advancing face. The ANDRIBOT drilling and bolting technology, produced by the Czech company Geofinal, provided radial anchoring in the entire projected range. The equipment was operated by trained specialists from OKD's operating employees and Novum Servis. The drilling speed was approx. 1m/min with a maximum diameter of 30mm for fiberglass bolts.

2.2 Vybrané základní údaje ke svorníkování

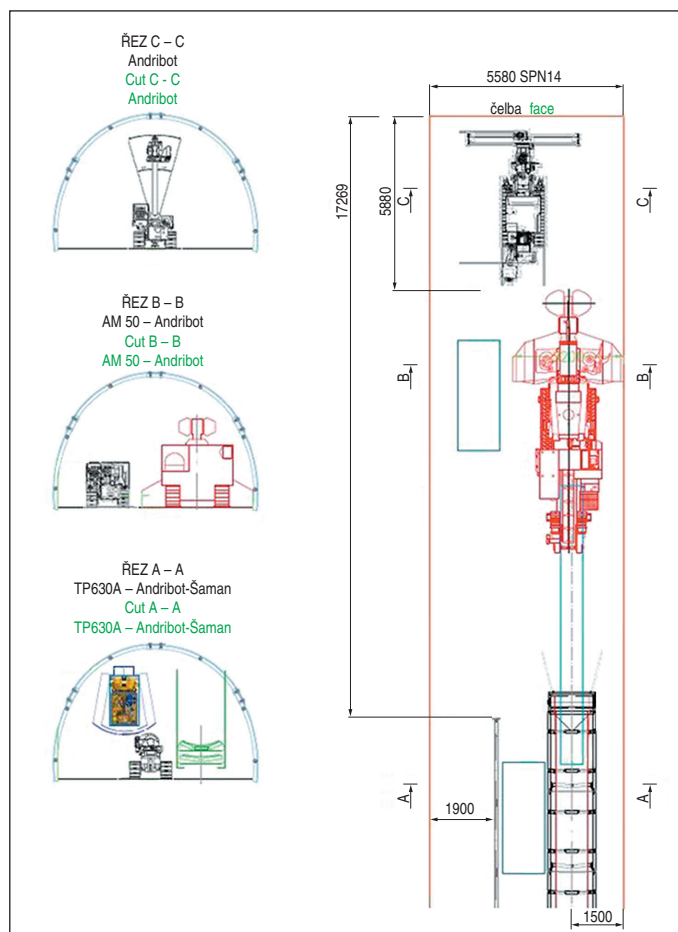
- ocelový výztužný svorník APB-1K o únosnosti 285 kN, délky 2,8 m;
- sklolaminátový svorník ROCKBOLT K60-27, únosnost ve spoji s podložkou 70 kN, délka 2,5 m;
- pramencový svorník IR-6ER, únosnost 450 kN, délka 12 m;
- rozteč řad 1 m;
- obvodová rozteč cca 1,5 m;
- uspořádání šachovnicovitě;
- počet svorníků 6 ks/bm;
- lepicí ampule Lokset HS Fast a Slow D24 mm podle projektu.

Svorníková výztuž byla považována za nedílnou součást výztuže díla. Její provádění bylo úzce spjato s cyklickým zajišťováním čelby a postupujícím předkem. Technologie vrtání a svorníkování ANDRIBOT, z produkce české firmy Geofinal, zajišťovala radiální kotvení v celém projektovaném rozsahu. Obsluhu zařízení zajišťovali vyškolení specialisté z řad provozních zaměstnanců OKD a firmy Novum Servis. Rychlost vrtání byla cca 1 m/min při průměru max. 30 mm pro sklolaminátové svorníky.

2.3 Vybrané základní údaje k technologii zajišťování kontaktu výztuže s horninovým masivem

Firmou Minova Bohemia bylo doporučeno a aplikováno elektrické vřetenové čerpadlo s říditelným vodním součinitelem PUMA, cementová směs ADIBET W 40 a polypropylenové vaky s uzavíracím ventilem:

- čerpací výkon 60 l/min;
- pevnost výplňového materiálu 40 MPa;
- rozměry rukávců 1,6×0,4 m;
- doba plnění rukávce cca 2 min.



Obr. 3 Schéma míjení vrtacího vozu ANDRIBOT a technologie ražby č. 400 042 [3]

Fig. 3 Passing scheme of ANDRIBOT drill rig and excavation technology No. 400 042 [3]



Obr. 4 Část vyražené chodby č. 400 042 již s bullflexovou technologií [4]

Fig. 4 Part of the gate No. 400 042 with applied bullflex technology [4]

3. DOSAŽENÉ PROVOZNÍ VÝSLEDKY

Ražba budoucí výdušné chodby č. 400 042 byla zahájena stavbou odbočky z bývalé úvodní těžní chodby č. 400 022, v současné době uzavřené porubu č. 400 000. Ražba byla zahájena v měsíci říjnu 2019. Ve staničení 8 m byla v měsíci listopadu předána razicímu kolektivu hlavního předáka p. Dudy. Sestavení kompletní technologie, včetně vrtacího a svorníkovacího vozu ANDRIBOT, bylo docíleno po zajetí do staničení 50 m (z důvodu montáže pásového odtěžení). Proto bylo v počátcích vrtáno pomocí ručních pneumatických vrtacích zařízení TURMAG F-4 a svorníkovacích zařízení Super Turbo Bolter 1500/1700. V měsíci listopadu a prosinci 2019 se osádka nejprve školila a získávala potřebnou provozní praxi s technologií kombinované výztuže. Počátkem roku 2020 již probíhala ražba podle plánu – viz tabulka 1.

Tab. 1 Dosažené provozní výsledky [3]

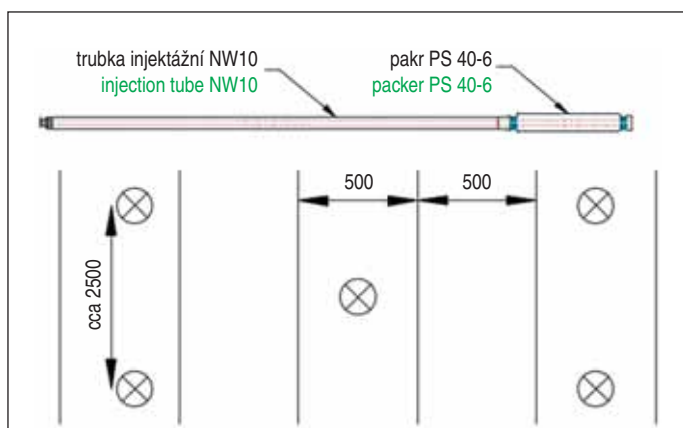
měsíc	postup [m]	počet provozních dní [j]	počet instalovaných svorníků	
			sklolaminátových [ks]	ocelových [ks]
listopad 2019	42	16	84	168
prosinec 2019	59	16	118	236
leden 2020	102	23	204	408

4. ZÍSKANÉ POZNATKY Z APLIKACE KOMBINOVANÉ VÝZTUŽE

Na základě tříměsíční zkušenosti nelze ještě stanovovat jednoznačné závěry, přesto jsou již po prvním měsíci, kdy bylo prováděno ruční vrtání, a v následujícím dvouměsíčním období s přechodem ke strojnímu vrtání a svorníkování, viditelné výkonové rozdíly. S narůstajícími zkušenostmi narůstá také čelový výkon – postup ražby se více než zdvojnásobil.

Pro urychlení postupu ražby se provedla také technicko-organizační opatření spočívající v toleranci opožďování svorníkování za postupující čelbou max. 24 hodin a vyplňování rukávců je prováděno 1x za 48 hodin. Díky narůstající zkušenosti v provozní praxi a optimalizaci ztrátových časů přejezdů technologií ražení a svorníkování se zdvojnásobil měsíční postup. Toto opatření nemělo vliv na soudržnost stropních vrstev a vznik nadvýlomů.

S profesionalizací obsluhy vrtacího a svorníkovacího stroje ANDRIBOT se snížila četnost poruch a došlo k omezení poškození vrtných tyčí a korunek. Při porovnání výsledků ražeb jiných kolektivů v profilu SPN14 a s výsledky sledované ražby č. 400 042 nedochází k výkonovým ztrátám.



Obr. 5 Vrtné schéma zpevňující injektáže uhlénoho pilíře mezi chodbami č. 400 042 a 400 020 [3]

Fig. 5 Drilling scheme for strengthening the coal pillar using resin grouting between gates 400 042 and 400 020 [3]

2.3 Selected basic data for technology ensuring support contact with rock massif

Company Minova Bohemia s.r.o. recommended and supplied an electric screw pump with a controllable water coefficient PUMA, cement mixture ADIBET W 40 and polypropylene bags with a shut-off valve:

- pumping output 60L/min;
- compressive strength of filling material 40MPa;
- size of sleeves 1.6x0.4m;
- sleeve filling time circa 2 min.

3. ACHIEVED OPERATIONAL RESULTS

The excavation of the future tailgate No. 400 042 was started by the construction of a branch from the former maingate No. 400 022 of currently closed longwall panel No. 400 000. The excavation was started in October 2019. At the chainage 8m it was handed over to the excavator team of the main foreman Mr. Duda in November. The assembly of the complete technology, including the ANDRIBOT drilling and bolting rig, was achieved after reaching chainage 50m (due to the installation of the belt hoist). Therefore, it was initially drilled using TURMAG F-4 manual pneumatic drilling rigs and Super Turbo Bolter 1500/1700 bolting machines. In November and December 2019, the crew was firstly trained and gained the necessary operational experience with combined support technology. At the beginning of this year, the excavation was already proceeding according to plan – see the table of achieved operating results [3].

Table 1 Achieved operational results [3]

month	advance [m]	number of operational days [-]	quantity of installed bolts	
			glassfiber [pc]	steel [pc]
November 2019	42	16	84	168
December 2019	59	16	118	236
January 2020	102	23	204	408

4. FINDINGS OBTAINED FROM USING COMBINED REINFORCEMENT

Based on three months of experience, it is not yet possible to draw unambiguous conclusions, despite that after the first month when manual drilling was performed, and in the following two-month period with the transition to machine drilling and bolting, performance differences are visible. With increasing experience, the face advance also increases – the excavation advance has more than doubled.

To speed up the mining process, technical and organizational measures were also taken, consisting in the tolerance of the bolting delay behind the advancing face for a maximum of 24 hours, and the sleeves are filled in once every 48 hours. Thanks to the growing experience in operational practice and the optimization of loss times of repositioning technologies for mining and bolting, the monthly advance has doubled. This measure did not affect the cohesion of the ceiling layers and the appearance of overbreaks.

With the professionalization of the operators of the ANDRIBOT drilling and bolting machine, the frequency of failures was reduced and the damage to the drilling rods and drill bits was reduced. Comparing the results of excavations of other teams in the SPN14 profile with the results of the monitored excavation No. 400 042, there are no production losses.

5. ZPEVNŮJÍCÍ INJEKTÁŽ PILÍŘE

Pro zpevnění uhlénoho pilíře mezi chodbami č. 400 042 a 400 020 ve staničení 10–60 m (pro chodbu 400 042) byla použita injektáž pomocí dvousložkových napěňujících polyuretanových injekčních hmot. Smyslem injektáže bylo nejen zlepšení pevnostních charakteristik uhléno hmoty v pilíři, ale také zabránění přístupu vzduchu do puklin v pilíři a tím snížení rizika samovznícení.

Pro injektáž byla zvolena dvousložková hmota Bevedol PS-Bevedan P v sudech o objemu 200 l pro obě složky A i B. Vzhledem k předpokládané nízké smykové pevnosti uhlí bylo použito vzduchového čerpadla GSF-35 s malým celkovým objemem hmoty na jeden zdvih plunžrů (49 ml) proto, aby nedocházelo k dalšímu porušování již tak porušeného uhlénoho pilíře. Samotná injektáž probíhala pomocí injekční soustavy tvořené pakrem PS-40 a injekční trubkou délky 1,5 m. Soustava byla vložena do vývrtu průměru 42 mm a délky cca 1600 mm. Vodorovné vrty (obr. 5) byly situovány mezi ocelovou obloukovou TH výztuž o hustotě budování 0,5 metru, vždy v rastru 1 vrt uprostřed výšky chodby – volné pole – dva vývrty (pod stropem a u počvy) – volné pole – 1 vrt uprostřed atd., celkem tedy 75 vrtů.

Spotřeba injekčních hmot nebyla zpočátku určena, po vyplnění 1. vrtu ve staničení 17 metrů celým sudovým kompletem (tj. 200 l složky A a 200 l složky B) a proinjektování okolí i stropu do vzdálenosti až 3 metry od injektovaného vrtu došlo k úpravě spotřeby na průměrně 1/3 sudového kompletu. Ukázalo se však, že vzhledem ke značnému porušení masivu dochází k poměrně rozsáhlé migraci injekčního média se vzájemnou komunikací mezi jednotlivými vrty, a tím k jejich prolepení. Injektáž byla doprovázena četnými

5. STRENGTHENING PILLAR INJECTIONS

To strengthen the coal pillar between gates No. 400 042 and 400 020 at the chainage 10–60 m (for gate 400 042), chemical injection using two-component foaming polyurethane materials was used. The purpose of chemical injection was not only to improve the strength characteristics of the coal mass in the pillar, but also to prevent air from entering the cracks in the pillar and thus reduce the risk of spontaneous combustion.

Two-component resin Bevedol Bevedan PS-P in barrels of 200L for both components A and B was chosen. Due to the expected low shear strength of coal usage of air driven pump GSF-35 with a small total volume of material per stroke of the plunger (49mL) was chosen in order to prevent further disruption of the already broken coal pillar. The grouting itself took place using an injection system consisting of a PS-40 packer and an injection tube 1.5m long. The system was introduced into a borehole with a diameter of 42mm and a length of approx. 1.600mm. Horizontal boreholes (Fig. 5) were situated between steel arch TH support with the spacing of 0.5 meters, always in a grid of one borehole in the middle of the gate height – free field – two boreholes (under the ceiling and in the ground) – free field – one borehole in the middle, etc., totally 75 boreholes.

Consumption of injection materials was not initially determined, after filling the first borehole in the chainage 17 meters with the complete barrel set (ie 200L component A and 200L component B) and grouting the surroundings and the ceiling to a distance of up to 3 meters from the grouted borehole updated consumption was set to average 1/3 barrel set. However, it turned out that due to the significant disruption of the massif, there is a relatively extensive migration of the injection medium with mutual communication



Obr. 6 Vrtací a svornikovací souprava ANDRIBOT při ověřovacím provozu kombinované výztuže [4]
Fig. 6 ANDRIBOT drilling and bolting rig during verification operations of combined support [4]

výtoky zpět do důlního díla a nutností tak neustále injektáž přerušovat. Celkem bylo nakonec spotřebováno 12 sudových kompletů (tj. 4800 l hmoty) Bevedol PS-Bevedan P. Injekční tlaky se po celou dobu pohybovaly pouze na dvou extrémech, tedy zcela beztlaká injektáž, nebo naopak injektáž s rychlým dosažením maximálního možného vyvinutého tlaku čerpadla v případě z předchozí etapy injektáže zainjektovaných vrtů.

6. ZÁVĚR

Po úspěšném nasazení nové vrtací a svorníkovací soupravy ANDRIBOT v letech 2018–2019 ve složitých důlně-technických podmínkách Dolu ČSM v OKD, a.s., proběhlo její odzkoušení na ražbě chodby č. 400 042 společně s razicím kombajnem AM-50. Při celkovém hodnocení se došlo ke dvěma závěrům. Především se ukázalo, že technologie ražby chodby č. 400 042 prokázala plnou životaschopnost možnosti souběhu ražby pomocí razicího kombajnu AM 50 a vrtacího a svorníkovacího zařízení ANDRIBOT bez ztráty na rychlosti postupu raženého díla. Operativnost subtilního vrtacího a svorníkovacího zařízení ANDRIBOT s rychlostí hydraulického vrtání okolo 1 m/min., bez ohledu na vrtaný průměr (27, 30 či 32 mm), jeho rychlost přejezdu, schopnost přemísťovat se až do úklonu 15°, značně usnadnila procesy vrtacích a svorníkovacích prací v čelbě (obr. 6).

Neméně podstatné je, že se ukázaly nové možnosti zvýšení stability důlního díla pomocí kombinované výztuže, tj. použití podpěrné výztuže a krátkých ocelových a sklolaminátových svorníků společně s technologií vyplňování volných prostor za výztuží tzv. bullflex, která zajišťuje nezbytný kontakt TH oblouků s okolní horninou. Efekt zesílení díla je završen následně provedením vysokého kotvení (podvěšením stropních vrstev do výšky 12 m strunami IR-6 ER). Zde je namístě podotknout, že plnou funkčnost výztužné sestavy předpokládá samozřejmě naprosto přesné a kvalitní provedení naprojektovaných operací. Ačkoliv jsou z dosavadních pozorování výsledky upokojivé, správnost přijatého rozhodnutí a účinnost stanovených opatření se plně prokáže teprve v následujícím období, kdy bude chodba ovlivněna znovu zprovozněným porubem č. 400 000. Konečná verifikace absolutních výsledků zvýšení stability chodby č. 400 042 se ukáže v budoucnu.

*Ing. PETR ČADA, Ph.D.,
petr.cada@minovaglobal.com,
Ing. a Ing. PAVEL DVOŘÁK, Ph.D.,
pavel.dvořák@minovaglobal.com,
Minova Bohemia s.r.o.,
Ing. JIŘÍ GOLASOWSKI, Ph.D.,
jiri.golasowski@okd.cz,
Ing. ZDENĚK SEMBOL,
zdenek.sembol@okd.cz,
OKD, a.s.*

Recenzoval *Reviewed*: Ing. Česlav Nastulczyk

between the individual boreholes, and thus their blinding. The grouting was accompanied by numerous outflows back to the mining work and the need to constantly interrupt the grouting operations. In the end, a total of 12 barrel sets (ie 4.800L) of resins Bevedol PS-Bevedan P were consumed. Injection pressures were only at two extremes at all times, ie completely pressureless injection or injection with rapid reaching the maximum possible developed pump pressure in the case from the previous stage of grouting injected boreholes.

6. CONCLUSIONS

Following the successful deployment of the new ANDRIBOT drilling and bolting rig in 2018–2019 in the difficult mining and technical conditions of the ČSM Mine in OKD, a.s., it was tested on the excavation of tailgate No. 400 042 together with the AM-50 heading machine. There were two conclusions in the overall evaluation. Above all, it turned out that the technology of excavation of gate No. 400 042 proved the full viability of the possibility of concurrence of excavation using the AM 50 heading machine and the ANDRIBOT drilling and bolting rig without loss of speed of the excavated work. The operability of the subtle drilling and bolting rig ANDRIBOT with a speed of hydraulic drilling about 1 m/min, regardless of the drilled diameter (27, 30 or 32mm), its travel speed, the ability to move up to 15° inclines, greatly facilitated drilling processes and bolting work in the face (Fig. 6).

It is no less important that new possibilities have been shown to increase the stability of the mine works by means of combined support, ie the use of steel arch support and short steel and fiberglass bolts together with free space filling technology behind support, so called BULLFLEX, ensuring the necessary contact of TH arches with surrounding rock. The effect of the support of the work is completed by the execution of a high bolting technology (by hanging the ceiling layers to a height of 12m with IR-6 ER strand anchors). It should be noted here that the full functionality of the support assembly presupposes, of course, absolutely accurate and high-quality execution of the designed operations. Although the results so far are reassuring, the correctness of the decision taken and the effectiveness of the measures will only be fully demonstrated in the following period, when the tailgate will be affected by the reopened longwall panel No. 400 000. The final verification of the absolute results of the increase in the stability of tailgate No. 400 042 will be shown in the future.

*Ing. PETR ČADA, Ph.D.,
petr.cada@minovaglobal.com,
Ing. a Ing. PAVEL DVOŘÁK, Ph.D.,
pavel.dvořák@minovaglobal.com,
Minova Bohemia s.r.o.,
Ing. JIŘÍ GOLASOWSKI, Ph.D.,
jiri.golasowski@okd.cz,
Ing. ZDENĚK SEMBOL,
zdenek.sembol@okd.cz, OKD, a.s.*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Metodický návod pro dimenzování kombinované výztuže dlouhých důlních děl v podmínkách OKD. Zpráva ÚGN AV ČR 2012
- [2] Standard technického ředitele OKD č. 4/2012 – Dimenzování kombinované výztuže dlouhých důlních děl v podmínkách OKD, a.s.
- [3] Interní materiály OKD
- [4] Fotodokumentace z archívu fy Minova Bohemia s.r.o.

VYUŽITÍ TECHNOLOGIE UMĚLÉ INTELIGENCE V REÁLNÉM ČASE PRO KONSTRUKCE PODZEMNÍCH STAVEB

REAL-TIME ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGY FOR GROUND SUPPORT CONSTRUCTION

BENNY CHEN, LOUIS-PHILIPPE GÉLINAS, LASSE KNABEN

ABSTRAKT

Pro stabilizaci výrubu se celosvětově využívá tradičních návrhových metod, pracovních postupů, metod ověřování a úprav profilu. Tyto metody obvykle vyžadují provádění zaměření zbudovaných konstrukcí a jejich porovnání s navrhovaným stavem v každé fázi pracovního postupu. Nicméně kvůli časové náročnosti a pracnosti takového porovnávání je mnoho staveb odkázáno na návrhový model a zkušenosti realizátorů. Využívání nejmodernějších vysoce přesných LiDAR technologií, konvolučních neuronových sítí (CNN) a vysokorychlostních výpočtů může poskytnout možnost pracovním týmům získat v reálném čase při zajišťování výrubu informace porovnatelné s návrhovými předpoklady nebo měření a ověření efektivity provedených opatření. Tato možnost má potenciál významně zvýšit efektivitu prováděných prací, jejich kvalitu a snížit množství odpadů v rámci stavebních prací.

ABSTRACT

Ground support across the globe utilise the common design, construct, verify and rework methodology. This methodology typically requires survey verification of the as-built result against design for each stage of the ground support installation. However, due to the time consuming and often manual intensive process of verifying the installation and design, many installations are completed based solely on design model and the operator's experience. Leveraging the latest in high-density LiDAR technology, Convolution Neural Networks (CNN) and high-speed computing can provide the ability for construction crews to receive real-time ground support installation feedback compared against the design or measure and verify the effectiveness of support. This has the potential to significantly increase the efficiency and quality of reinforcement and reduce wastage in construction.

AKTUÁLNÍ VÝZVY PŘI PROVÁDĚNÍ STABILIZACE VÝRUBU

Stabilizace výrubu jako součást razicího cyklu nebo jedna z činností při rekonstrukcích stávajících konstrukcí sdílí podobné problémy. Ty jsou výsledkem provádění těchto prací bez dostatečných podpůrných činností nebo nemožností ověřit efektivitu provedených konstrukcí v dynamicky se měnícím prostředí. Konvenční přístup zahrnující sběr dat pomocí totálních stanic nebo LiDAR skenerů hraje klíčovou roli v procesu ověřování dosažených výsledků, kdy je měření konvergencí použito pro ověření efektivity provedené stabilizace výrubu. Tento postup obvykle představuje několikahodinové ruční zpracování získaných dat, ze kterých jsou připraveny protokoly, které mohou být předány pracovníkům. To je však často velmi pozdě a vyvstává nutnost stabilizaci výrubu opravit.

Typicky při provádění stříkaných betonů je tloušťka aplikované vrstvy velmi závislá na schopnostech a zkušenostech operátora. Soulad skutečně aplikované tloušťky stříkaného betonu s požadovanou tloušťkou v projektu není možné zjistit, dokud práce nejsou ukončeny a není provedeno zaměření včetně zpracování dat tak, aby bylo možné určit, kde došlo k nástřiku silnější nebo slabší vrstvy oproti požadavku. To následně vede buď v nadspotřebu, nebo nutnost pracovní postup zopakovat.

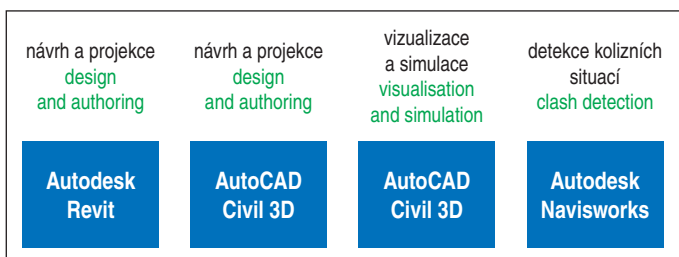
Instalace svorníků a výztužných sítí byla často specifikována na základě geologického modelu horninového prostředí s minimálním množstvím informací o konvergencích v dané oblasti. Proto jsou rozteče svorníků a typ sítí často navrhovány na základě výpočtových modelů a zkušeností. Obvykle je získání informací o konvergencích v dané oblasti v požadované přesnosti pro posouzení odezvy provedených opatření časově velmi náročné a pracné.

CURRENT GROUND SUPPORT CONSTRUCTION CHALLENGES

Ground support construction in an excavation cycle or rehabilitation of existing infrastructure both share similar challenge. These challenges are the result of ground support installation with inadequate guidance or without the ability to verify the effectiveness of the support in a dynamically changing environment. Conventionally, survey pickups using total stations or LiDAR scanners play a key role in the verification of installation, with measurements of convergence utilised to help verify the effectiveness of the ground support. This process often takes hours of manual processing before reports can be provided to the construction crew. This is often too late and rework may need to occur.

In a typical shotcrete application stage, the thickness of shotcrete applied is highly dependent on the skill and experience of the nozzlemen. The compliance of the sprayed thickness against design requirements is not known until spraying is completed and survey pick-up, highlighting areas of overspray or underspray. Consequently, resulting in shotcrete wastage or costly rework.

Installation of bolts and mesh was often specified based on the geological model of the ground conditions with little actual convergence feedback from the area. Hence, the provisioning of bolts spacing and mesh thickness is often done based on design model and experience. Typically, the process of obtaining convergence information of an area with the required accuracy for feedback into the ground support strategy is very labour intensive and time consuming.



Obr. 1 BIM proces

Fig. 1 BIM construction work flow

NEJMODERNĚJŠÍ KONSTRUKČNÍ METODY

Konstrukce využívající informační modelování staveb (BIM)

Vlády po celém světě rychle přijímají stavební zásady BIM pro projekty staveb a zavádějí BIM předpisy. To je patrné v zemích jako Hongkong, Singapur, Norsko a Švédsko. Obr. 1 představuje klíčový postup prací v BIM systému, kde architektonické a technické řešení je vytvořeno v 3D CAD systémech, jako jsou Revit a Civil3D. Následně je kompletní CAD konstrukce virtuálně provedena pomocí VDC procesů (Virtual Design and Construction – virtuální návrh a výstavba), což pomáhá potvrdit stavební postupy a harmonogramy. V této fázi jsou v modelu také odhalovány případné kolizní situace, což umožňuje odstranění případných návrhových vad dříve, než je dokumentace stavby schválena.

Technologie LiDAR (Light Detection And Ranging)

Technologie BIM je jedním z klíčových důvodů pro používání laserových skenerů. Tato zařízení jsou používána pro skenování stavebních prvků ve 3D. Tento proces je obvykle prováděn týmem měřičů, kdy je laserový skener umístěn v oblasti čelby pro získání aktuálních dat. Výsledky (aktuálního stavu) jsou následně zpracovány s využitím vysoce výkonných stolních počítačů, které vytvoří data v referenčním koordinačním systému. Následně jsou výše uvedená data jednotlivých sítí bodů nějakým způsobem ručně zpracována pro odstranění chyb měření a nakonec jsou křížově zkontrolována s daty modelu, než je vytvořen protokol, který může být dále analyzován a poskytne informace prováděcímu týmu. Tento postup obvykle trvá 2–4 hodiny pro jedno staničení a vyžaduje přítomnost velmi zkušeného pracovníka schopného naměřená data správně zpracovat. Proto je použití takové technologie v podzemním stavitelství omezena.

Využití výpočtů konvolučních neuronových sítí v aplikacích pro podzemní stavitelství

Rámec konvolučních neuronových sítí (CNN) je široce používán celosvětově pro strojové učení a deep learning procesy. Základní funkcí CNN je umožnit počítači automaticky detekovat klíčové informace ve zdrojových datech a aplikovat na ně různé filtry pro opravu dat za účelem vytvoření hodnotné výstupní informace. I v příkladu, který je patrný na obr. 2, hrubá zdrojová data z LiDAR mohou být zadána do softwarové aplikace pracující na bázi CNN, která automaticky vyfiltruje data tak, aby byly detekovány polohy podložek a samotných svorníků. Pro dosažení tohoto výsledku je potřeba, aby CNN aplikace obsahovala „filtry“, v tomto případě může být filtrem algoritmus na vyhledávání ostrých hran, což umožňuje počítači prohledat zdrojová data a vyhledat ve snímku obrazy podobné podložce. Ve většině případů

STATE OF THE ART CONSTRUCTION TECHNOLOGY

Building Information Model (BIM) construction

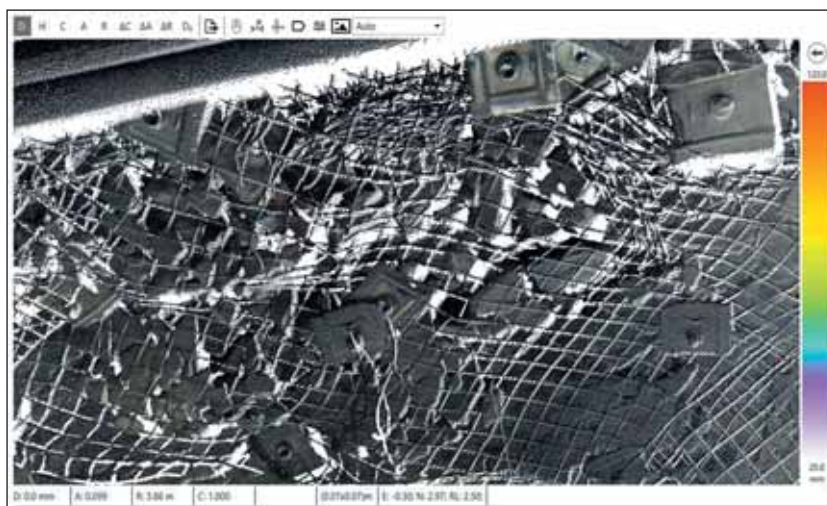
Governments across the world are rapidly adapting the BIM building code to construction projects following the introduction of BIM standards. This is apparent in countries such as Hong Kong, Singapore, Norway and Sweden. Fig. 1 illustrates the core BIM construction workflow, where architectural and tunnel designs and authoring are completed in 3D CAD software, such as Revit and Civil3D. Subsequently, complete CAD construction simulation are carried out during the Virtual Design & Construction (VDC) process, helping validate construction processes and schedules. Clash detection is also carried out with the design model, allowing for the detection of any design mistakes before the construction plan is approved.

LiDAR technology

BIM construction is one of the key drivers for laser scanner technology usage. Laser scanners are used to scan as-built construction elements in 3D. This process is typically carried out by the survey team where the laser scanner is deployed in the excavation heading to collect the as-built scan data. This scan data is then brought up to the surface where some form of registration is done on a high compute-power desktop computer to produce the data in a georeferenced coordinate system. Subsequently, the aforementioned point cloud data set is put through some manual processing to correct for measurement errors and finally, cross correlate to the design data before producing a report that can be used for analysis and feedback to the construction crew. This process typically takes between 2 to 4 hours per station and requiring highly skilled data engineer. Hence, the use of such technology in civil constructions are limited.

Utilising convolution neural network computing for ground support application

The CNN framework has been widely adapted for Machine Learning and Deep Learning applications globally. The fundamental function of the CNN framework is to allow the computer to automatically detect key information in the input data and apply various filters to correct the data to produce valuable output information. In an example as shown in Fig. 2, a raw point cloud data from a LiDAR can be input into a CNN based software application that automatically filter the data to detects bolt plates and the locations of each bolt. To achieve this the CNN application will require what is known as ‘Filters’, in this example a filter



Obr. 2 3D snímek s patrnými podložkami jako výstup z GML

Fig. 2 3D point cloud image of bolt plates from GML

bude software potřebovat řadu dalších filtrů, které se použijí k dosažení výsledku, jaký je vidět na obr. 2.

Nicméně problémem je výpočetní výkon. Aplikace na bázi CNN vyžadují vysoce výkonné procesory a složitost výpočtů roste exponenciálně ($(O)N^2$ v efektivitě složitosti algoritmů) jelikož množství vstupních dat a filtrů se zvyšuje. Proto bylo použití této technologie omezeno na post-processing aplikace a zřídka je využívána pro aplikace v reálném čase.

Využití technologie vysokorychlostních výpočtů při CNN zpracování dat

Rychlé zavedení zabudovaných vysokorychlostních výpočetních platform, jako je FPGA (field programmable gate array – programovatelné hradlové pole) a GPU (graphics processor unit – grafický procesor) procesorových jader pro zpracovávání dat, se stalo převládajícím způsobem řešení od roku 2016. Tyto technologie umožňují bateriemi napájeným zařízením dosáhnout výpočetních výkonů na úrovni jednoho trilionu operací v plovoucí řádové čárce za sekundu (1 teraflop). Částečně je za tento rychlý rozvoj odpovědný globální vývoj v algoritmech a procesorových jádrech pro platformy strojového učení a projektech pro autonomní řízení vozidel.

Použitím technologie založené na FPGA se systémem zabudovaným do procesoru (SoC – System on a Chip), podobně jako u technologie jader Zynq-mp procesorů, která je schopna dosáhnout výpočetního výkonu v řádech teraflopsů, může být zpracovávání počítačově zintenzivněných signálů implementováno do hardwaru s využitím programovatelné logické paměti (obr. 3). Programovatelná logická paměť (na obrázku vyznačena žlutě) umožňuje vývojářům vytvořit specifické digitální signály zpracovávající jádro (podobně jako GPU) a spouštět je paralelně spolu, čímž je dosaženo vysokého výpočetního výkonu při zpracování velkých objemů dat. Tato oblast těží také z toho, že má vlastní určené paměťové bloky

could be an ‘Edge Detect’ algorithm that allows the computer to scan the point cloud data to detect distinct edges in the scene similar to a bolt plate. In most cases there will be many other filters that the software needs to apply to the scene to achieve results as show in Fig. 2.

However, the issue is the computing load. CNN based applications requires high computing load and the load increases exponentially ($(O)N^2$ in algorithm efficiency annotations) as the input data size and number of filters increases. Therefore, utilization of such technology has been confined to post processing application and rarely being used in real-time application.

Utilising High-Speed Compute Technology for CNN Processing

The rapid adoption of high-speed embedded computing platforms like Field-Programmable Gate Array (FPGA) and Graphics Processing Unit (GPU) processor cores, for embedded systems data processing has been prevalent since 2016. These technologies allow battery powered devices to achieve computing performance of one trillion floating-point operations per second (1 teraflop). Part of this rapid adaption is due to the global development of algorithms and processor cores for machine learning platforms and real-time autonomous vehicle projects.

By using FPGA based System-on-Chip (SoC) technology (similar to the Zynq-mp processor core technology) that can deliver teraflops of computing performance, the computationally intensive signal processing filters can be implemented in the hardware using the Programmable Logic area (see Fig. 3). The Programmable Logic area (in yellow) allows the computer designer to create custom digital signal processing cores (like GPUs) and execute them in parallel, allowing high speed processing of large datasets. This area also has the benefit of having dedicated memory banks that support concurrent access (unlike conventional computer memory access) via a common bus architecture. Hence, this allows us to process high-density data similar to a 3D point cloud data produced by laser scanners in real-time.

REAL-TIME ARTIFICIAL INTELLIGENCE MEASUREMENT TECHNOLOGY

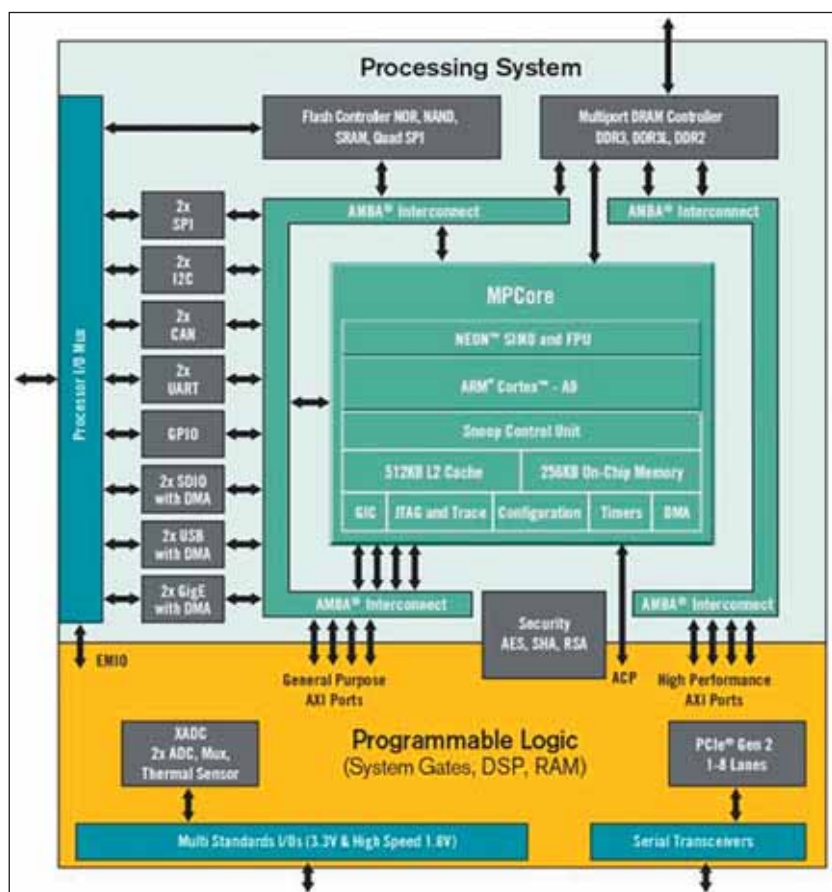
In this paper, real-time in-situ measurement technology refers to a portable measurement device that is equipped with onboard high-speed computing capabilities to deliver live or near real-time high-resolution information. One such example is the production of information such as deformation or shotcrete thickness results in 3D. The comparison between using a conventional LiDAR versus an in-situ LiDAR technology Geotechnical Monitoring LiDAR (GML) is depicted in Fig 3.1.

The ability to produce the desired construction results automatically and in minutes has the potential to significantly change ground support design and construction processes.

Geotechnical monitoring LiDAR (GML) technology

The GML technology is designed and developed by GroundProbe, a technology company that provides geotechnical deformation and convergence monitoring systems to the mining industry. As shown in Fig. 3.2, GML is a complete standalone, battery operated LiDAR solution designed for single-man operations.

This technology is equipped with onboard high-speed computing device and CNN based Machine Automation software, allowing the automated and



Obr. 3 Architektura FPGA Xilinx
Fig. 3 Xilinx FPGA architecture

podporující vícenásobný současný přístup (oproti jiným konvenčním přístupům počítačů k paměti) přes běžnou sběrnici. Tento fakt umožňuje zpracování dat vysoce přesných 3D bodových polí z laserových skenerů v reálném čase.

MĚŘÍCÍ TECHNOLOGIE VYUŽÍVAJÍCÍ UMĚLOU INTELIGENCI V REÁLNÉM ČASE

V tomto článku je technologií měření in-situ v reálném čase chápáno použití přenosného měřicího zařízení, které je vybaveno vysoce výkonným zabudovaným počítačem a je schopné v reálném nebo téměř reálném čase poskytnout obrazové informace ve vysokém rozlišení. Jedním z takových příkladů je vytváření dat o deformacích nebo tloušťce stříkaného betonu ve 3D. Porovnání mezi použitím konvenčních LiDAR systémů a LiDAR technologie pro geotechnický monitoring (GML) je zobrazeno na obr. 3.1.

Schopnost produkovat požadované výsledky automaticky a v řádech minut má potenciál významně změnit návrhy zajištění výrubu a samotný stavební proces.

Technologie geotechnického monitoringu LiDAR (GML)

Technologie GML je navržena a vyvinuta společností GroundProbe, technologickou společností poskytující monitorovací systémy pro sledování konvergence a deformací v těžářském průmyslu. Jak je patrné z obr. 3.2, je GML samostatným, bateriemi napájeným LiDAR zařízením určeným pro obsluhu jedním pracovníkem.

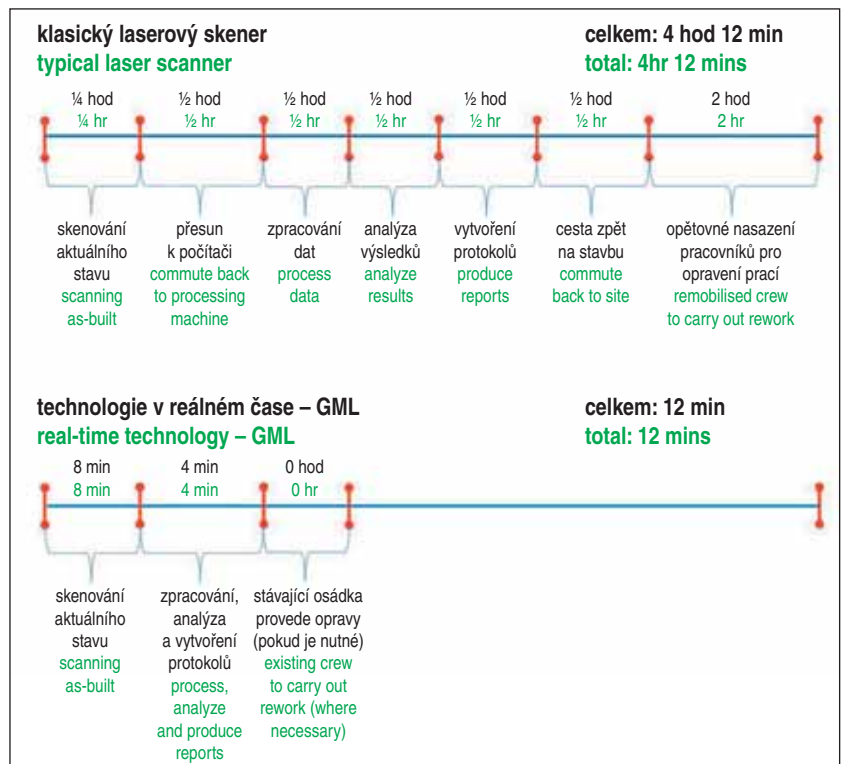
Tato technologie je vybavena zabudovaným vysoce výkonným počítačem a softwarem pro automatizaci na bázi CNN, což umožňuje zpracování snímků ve vysokém rozlišení v téměř reálném čase pro zobrazení deformací nebo tloušťky stříkaného betonu. Na obr. 3.3 je schéma architektury GML systému.

Funkce monitoringu deformací

GML technologie je používána v hlubinném hornictví a tunelové výstavbě jak pro monitoring deformací (konvergencí), tak jako zařízení pro navádění při provádění prací. Obr. 3.4 ukazuje příklad zobrazování při zapnutí funkce měření deformací. Software zobrazuje zachycené pohyby ostění oproti referenční hodnotě – zobrazeno žlutou barvou. Aktuální hodnota posunů je zobrazena v milimetrech v tabulkách na levé straně. Informace o pohybech (deformacích) jsou patrné z barevné mapy, kdy červená barva zobrazuje pohyby ve směru ke skeneru a fialová barva pohyby ve směru od skeneru.

Funkce pracovního navádění

V případě, že je GML používáno k navádění při pracovních činnostech, je možné do něj naimportovat BIM CAD modely konstrukcí a automaticky počítat reálné odchylky od návrhového modelu. To umožní pracovním týmům získat v reálném čase informace o výsledcích jejich práce v tunelu. Obr. 3.5 ukazuje výstup ze softwaru v režimu pracovního navádění při realizaci prací v tunelu.



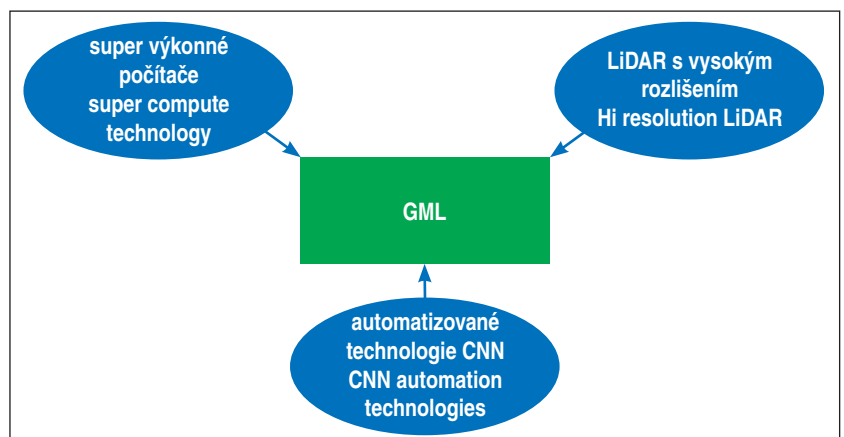
Obr. 3.1 Porovnání pracovního času u LiDAR a GML technologie

Fig. 3.1 LiDAR vs In-situ LiDAR workflow comparison



Obr. 3.2 Geotechnický monitoring LiDAR (GML)

Fig. 3.2 Geotechnical monitoring LiDAR (GML)



Obr. 3.3 Architektura GML systému

Fig. 3.3 GML system architecture

NAVÁDĚNÍ PRO STŘÍKANÉ BETONY V REÁLNÉM ČASE

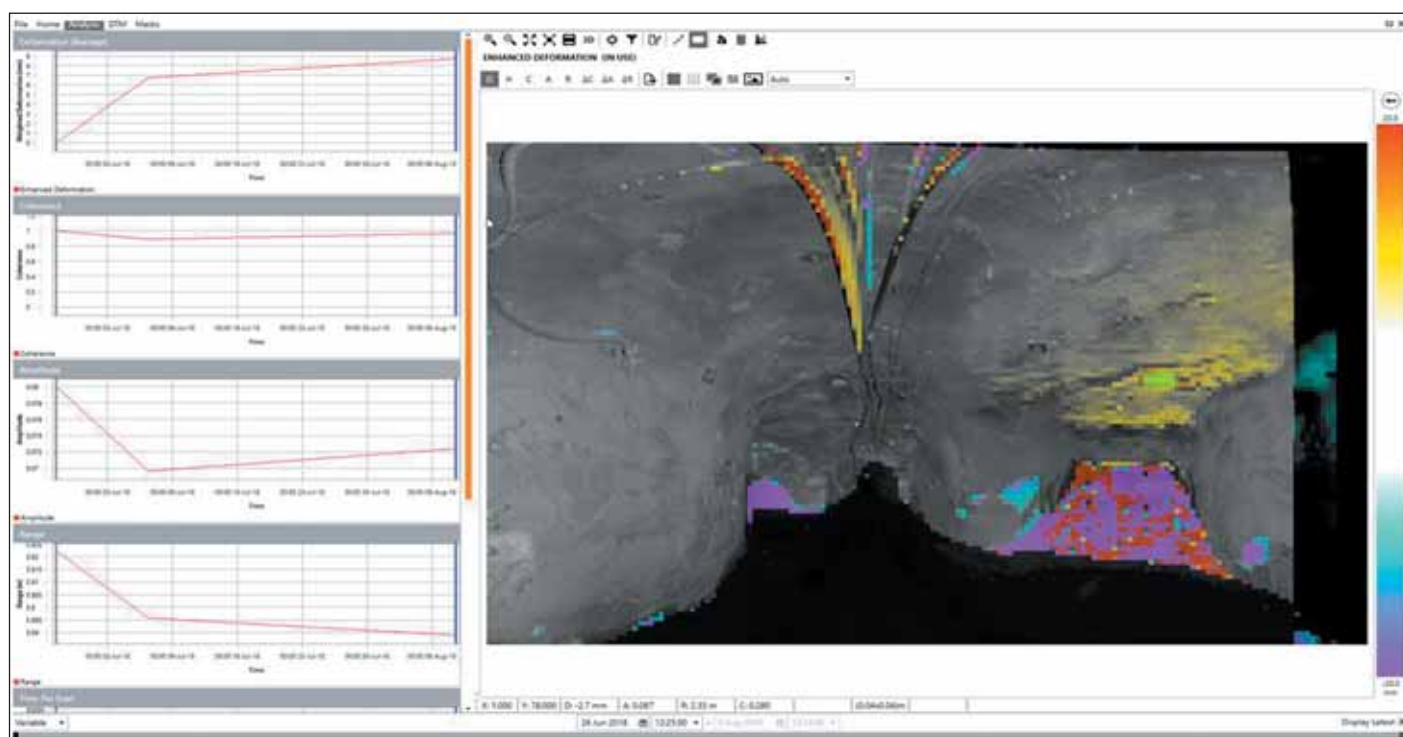
Níže prezentované výstupy jsou zpracovány na základě realizovaného tunelového projektu z Austrálie v roce 2018. Na projektu byl použit systém GML pro měření tloušťky realizovaného primárního ostění ze stříkaného betonu.

Hlavním problémem, se kterým se projekt potýkal, byla nadměrná potřeba objednávek betonu pro stříkání. To bylo způsobeno faktem, že objednávky vycházejí z předpokládaného počítaného objemu materiálu, který zahrnuje velké rezervy pro spád materiálu a také zohledňuje zkušenosti operátorů. V průběhu nástřiku mají pracovníci jako jediné vodítko pro určení tloušťky nástřiku konce svorníků. To může mít za následek velmi rozdílnou tloušťku nástřiku závislou především na schopnostech operátorů.

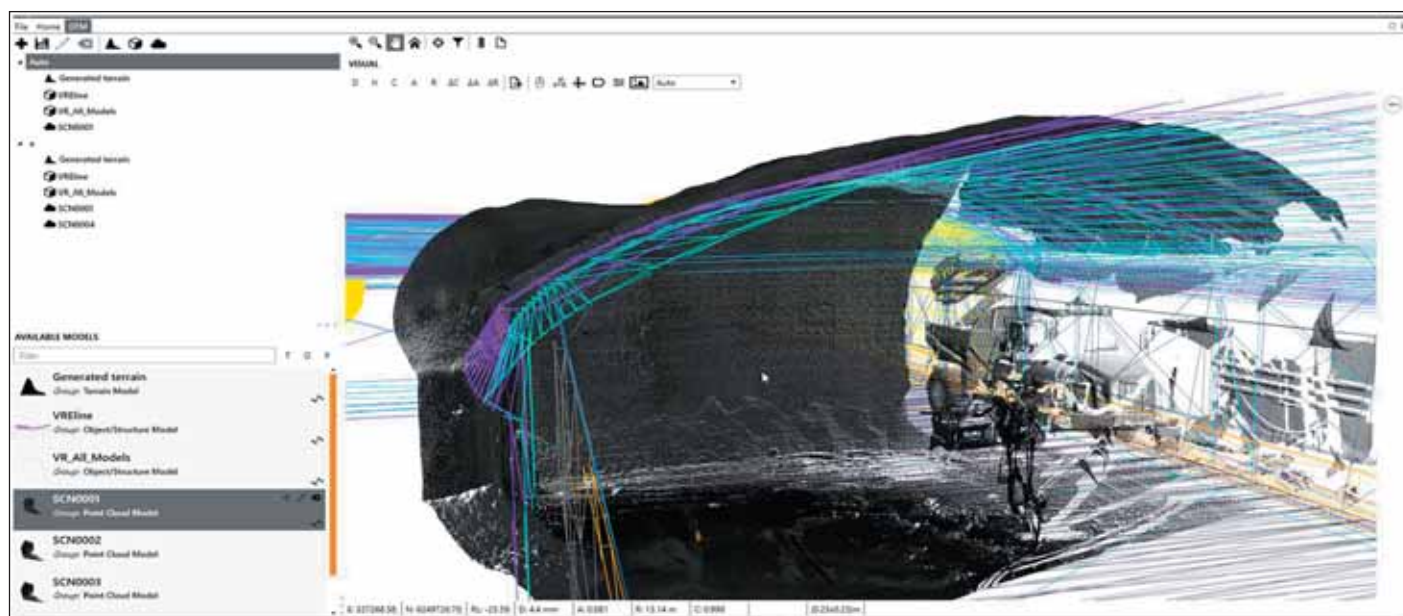
near real-time processing of high density point cloud to produce deformation and shotcrete thickness information. Fig. 3.3 shows the GML system architecture.

Convergence monitoring mode

The GML technology is used in the underground mining and tunneling industry as both a convergence monitoring device, and a construction guidance device. Fig. 3.4 shows an example of the software running in the convergence monitoring mode. The software showed movements detected on the back of the draw point, as depicted in the yellow colour heatmap. The actual magnitude of the movements is shown in millimeters in the charts on the left. The deformation information is represented in a hot-cold colour map, with red representing movement towards the scanner and purple representing movements away from the scanner.



Obr. 3.4 Výstup z měření konvergenčí pomocí GML
Fig. 3.4 GML convergence monitoring mode



Obr. 3.5 Výstup z pracovního navádění pomocí GML
Fig. 3.5 GML construction guidance mode

Na tomto projektu byla technologie GML využívána pro získání informací v reálném čase, umožňující operátorům stříkacích strojů dodržet požadovanou tloušťku nástřiku. GML systém byl však v rámci projektu nasazen až později. Zůstává tak výzvou školení a přesvědčování operátorů stříkacích strojů pro využívání systému za účelem aplikace správné tloušťky nástřiku a následně ke snížení celkové spotřeby stříkaného betonu.

Construction guidance mode

The GML when operating in the construction guidance mode can import BIM CAD models into the device and automatically calculate the deviations against design models to allow construction crews to have real-time feedback of their work while in the tunnel. Fig. 3.5 shows the software operating in Construction Guidance Mode in a tunnel excavation operation.

LIVE SHOTCRETE SPRAY GUIDANCE

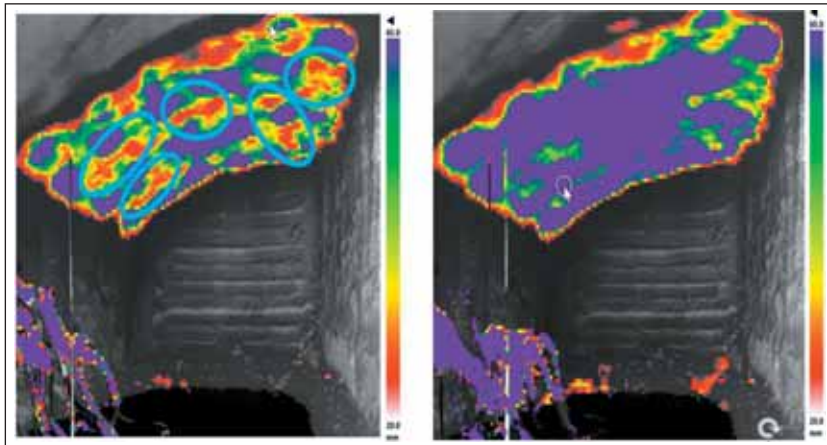
The following case study is based on data from an Australian tunneling project in 2018. The project utilised GML to manage the sprayed shotcrete thickness for the primary lining ground support construction.

The main construction issues faced in this project was the excess amount of shotcrete being ordered. This was because the amount of shotcrete ordered is based on a calculated estimation, with a large amount of excess often being ordered to account for rebound and the spraying skill of the nozzle men. During the spray stage, the nozzle men have only the bolt tip to gauge the spray thickness. This can result in the final sprayed thickness varying widely depending on the skills of the sprayer.

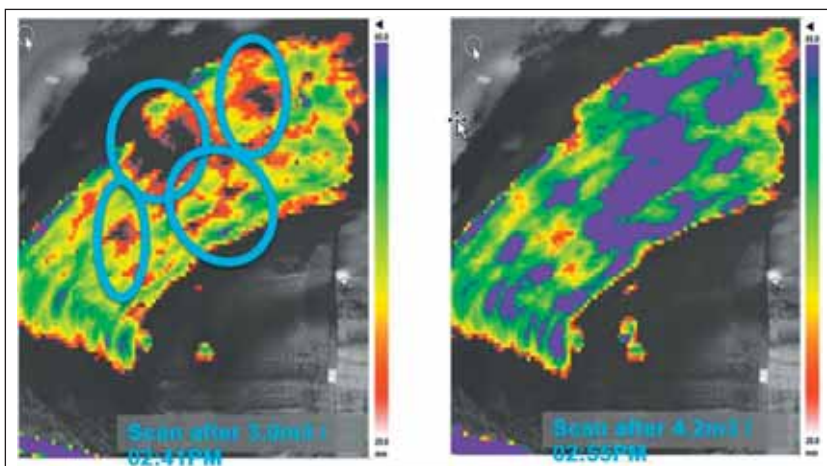
The project utilised GML to provide in-situ feedback, guiding the nozzle men to spray to the desired design thickness. However, GML was introduced at the later stage of the project. Hence, presenting the challenge of training and influencing the nozzle men to spray to the correct thickness and subsequently reduce the overall shotcrete usage.

At the beginning

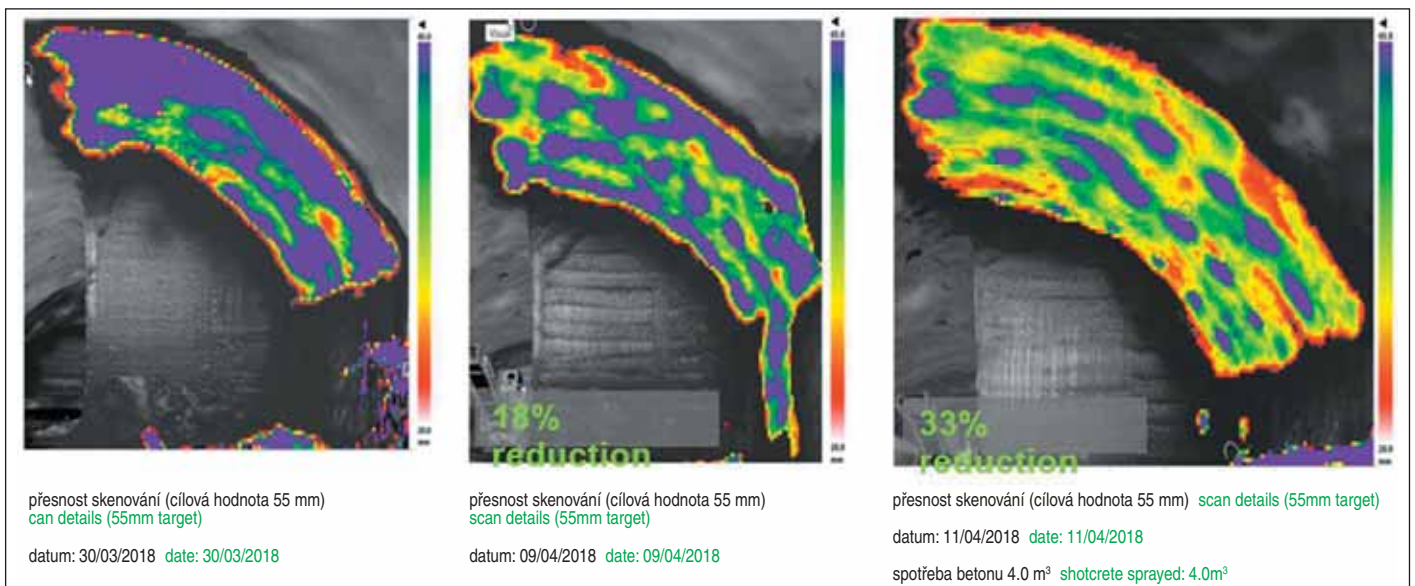
At the start GML was used to characterise the spray quality of the different nozzle men. Fig. 4.1 shows the typical spray quality before using GML to guide the nozzle men. The shotcrete thickness in the images shows underspray areas in red, overspray areas in purple and desired design thickness in green. As shown on the left of Fig. 4.1, the sprayer was able to cover the bolts correctly but leaving large under spray gaps between the bolts. The other issue found



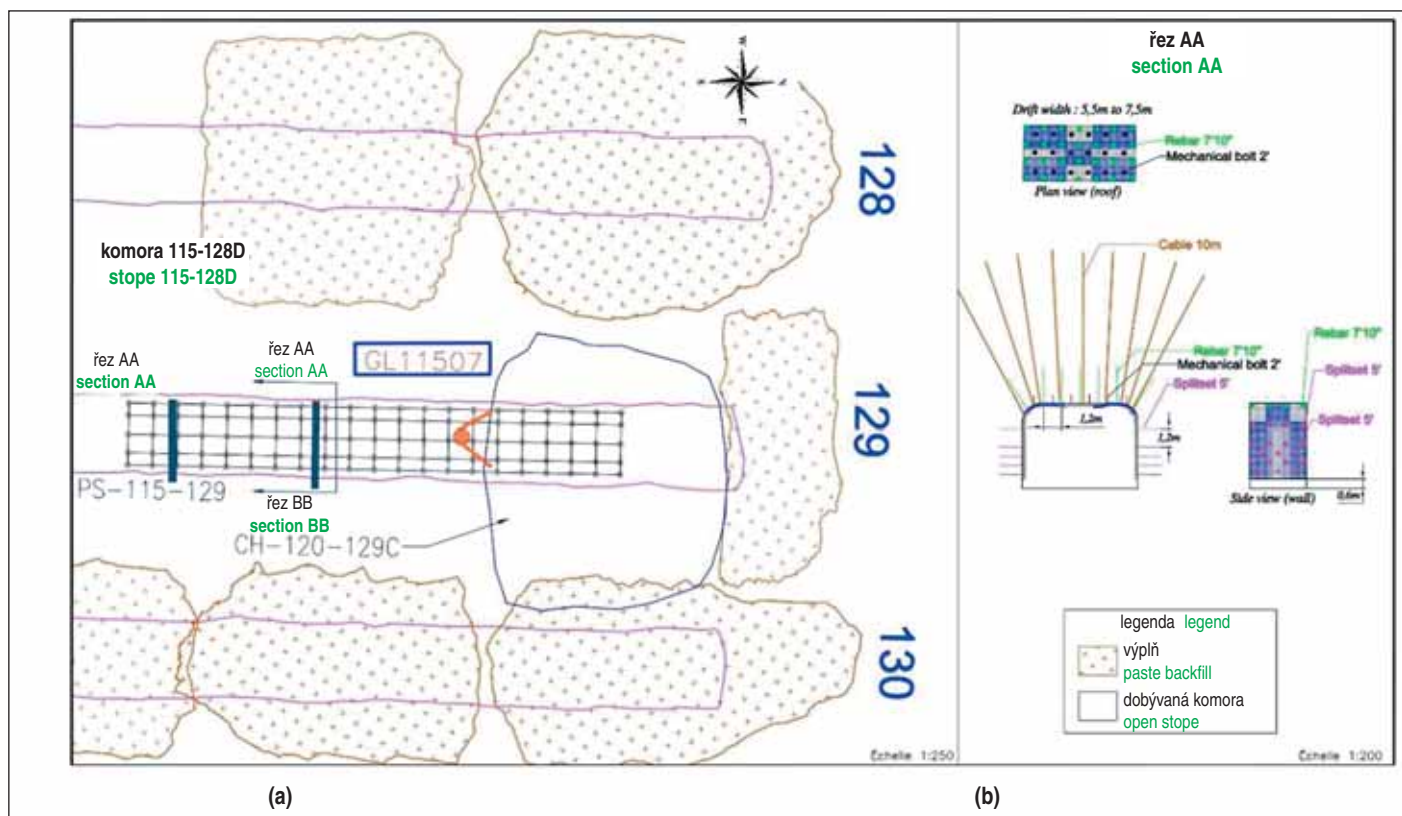
Obr. 4.1 Zjišťování nedostatečné nebo nadměrné tloušťky stříkaného betonu
Fig. 4.1 Detection of overspray and underspray shotcrete



Obr. 4.2 Navádění obsluhy k opravě nedostříkaných míst
Fig. 4.2 Nozzlemen guided to fix up thin spots in shotcrete



Obr. 4.3 Snížení spotřeby betonu
Fig. 4.3 Reduction of shotcrete usage



Obr. 5 Prostorové uspořádání GML ve staničení GL11507 s příčnými řezy zobrazující primární zajištění výrubu

Fig. 5 Position of the GML station GL11507 on plan with cross-section showing ground support and cable-bolting pattern

Úvodní fáze

Na začátku byla technologie GML použita k určení kvality provádění prací jednotlivými pracovníky. Obr. 4.1 ukazuje typickou kvalitu provedení stříkaného betonu před používáním GML operátory stříkacích strojů. Tloušťka stříkaného betonu ukazuje nedostříkané oblasti červeně, fialově oblasti s nadměrnou vrstvou a zeleně oblasti s projektovanou tloušťkou ostění. Jak je vidět na levé straně obr. 4.1, operátor stroje byl schopen překrýt správně všechna zhlaví svorníků, ale mezi nimi zanechal mnoho nedostříkaných míst. Druhým zjištěným problémem byl fakt, že operátoři často použili příliš mnoho betonu po celé ploše, aby zajistili dostatečnou vrstvu krytí (na obr. 4.1 vpravo). Z toho vyplývá významná nadspotřeba betonu.

Snížení opravných prací

V průběhu prvních 4 týdnů používání GML na daném projektu, kdy došlo ze strany technických pracovníků, předáků a operátorů k akceptaci používání systému, bylo zaznamenáno zlepšení kvality prováděných prací. Operátoři byli schopni s použitím GML systému opravovat nedostříkané oblasti, jak je patrné na obr. 4.2. Nicméně stále zůstával v některých místech problém s nadměrnou tloušťkou nástřiku. Obr. 4.2 ukazuje, že operátor byl schopen pomocí GML systému odhalit místa s nedostatečnou tloušťkou a tato opravit.

Snížování spotřeby betonu

Krátce po skončení prvního měsíce používání byli schopni všichni operátoři používat technologii GML pro navádění při práci a snížit tak množství přestříkaných míst. Obr. 4.3 ukazuje pokles množství oblastí s nadměrnou tloušťkou ostění. V tomto případě byli operátoři schopni dosáhnout snížení spotřeby stříkaného betonu o 33 % při použití GML technologie. Navíc tohoto výsledku bylo dosaženo již po dvou týdnech od nasazení technologie GML do praxe.

V průběhu prvního měsíce používání GML technologie bylo dosaženo snížení spotřeby betonu pro stříkání o 30 % v rámci celého projektu.

was that often the nozzlemen would overspray the entire area just to ensure no underspray areas (as depicted on the right of Fig. 4.1). Thus, using significantly more shotcrete than required.

Reducing rework

Within the first 4 weeks of the project, after buy-in from site engineers, foremen and nozzlemen, the project was starting to see improvement of the spray quality. The sprayer was able to use GML guidance to cover up the thin spots as seen in Fig. 4.2. However, there were still some amount of overspray. Fig. 4.2 shows the nozzlemen was able to detect thin areas and rectify them on the spot using GML.

Reducing shotcrete usage

Shortly after the first month, the majority of the nozzlemen were able to use the GML to guide their spraying to reduce the amount of overspray. Fig. 4.3 shows the reduction of overspray areas. In this example, the nozzlemen was able to reduce 33% of shotcrete usage by using GML. More importantly, this was achieved within 2 weeks of working with the GML.

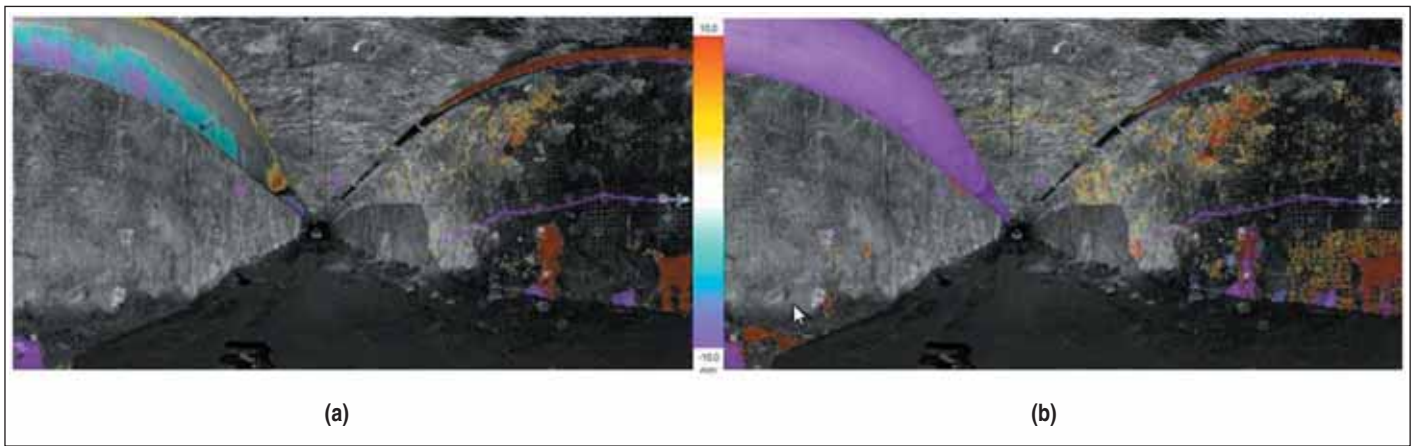
Within the first month of utilizing the GML, the shotcrete order amount was able to be reduced by 30% across the project.

EFFECTIVENESS OF GROUND SUPPORT

This next case study is based on the paper published by the Agnico Eagle Geotechnical team in Canada titled, "Advanced geotechnical monitoring technology to assess ground support effectiveness". This paper was presented at the Ninth International Symposium on Ground Support in Mining and Underground Construction 2019.

Effectiveness of ground support during stope back fill and production blast

GML was used to monitor the effectiveness of existing ground support in a drive before, during and after the back filled operation with production blasting activities in neighboring stopes. Table 1



Obr. 5.1 Detekce deformací mezi (a) 30. lednem 2019 a 14. únorem 2019 a (b) 30. lednem 2019 a 20. únorem 2019
 Fig. 5.1 Detection of deformation between (a) 30th Jan 2019 and 14th of Feb 2019, and (b) 30th Jan 2019 and 20th of Feb 2019

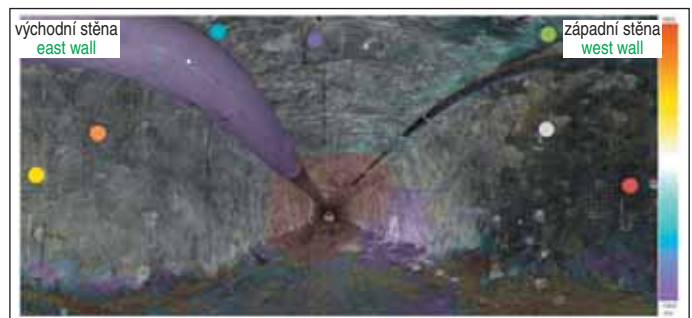
EFEKTIVITA ZAJIŠTĚNÍ VÝRUBU

Druhý příklad využití GML technologie vychází z případu publikovaného geotechnickým týmem společnosti Agnico Eagle v Kanadě nazvaným „Pokročilý geotechnický monitoring pro vyhodnocení efektivity zajištění výrubu“. Tento článek byl publikován v rámci 9. mezinárodního symposia Zajišťování výrubu v hornictví a podzemním stavitelství 2019.

Efektivita zajištění výrubu v průběhu vyplňování komor a produkčních trhacích prací

GML bylo využito pro monitoring stávajícího zajištění výrubu v chodbě před, v průběhu a po dokončení zaplňování komor sousedních chodeb a při provádění produkčních trhacích prací. Tabulka 1 ukazuje časový program monitoringu ve vztahu k prováděným pracím v okolí sledované chodby.

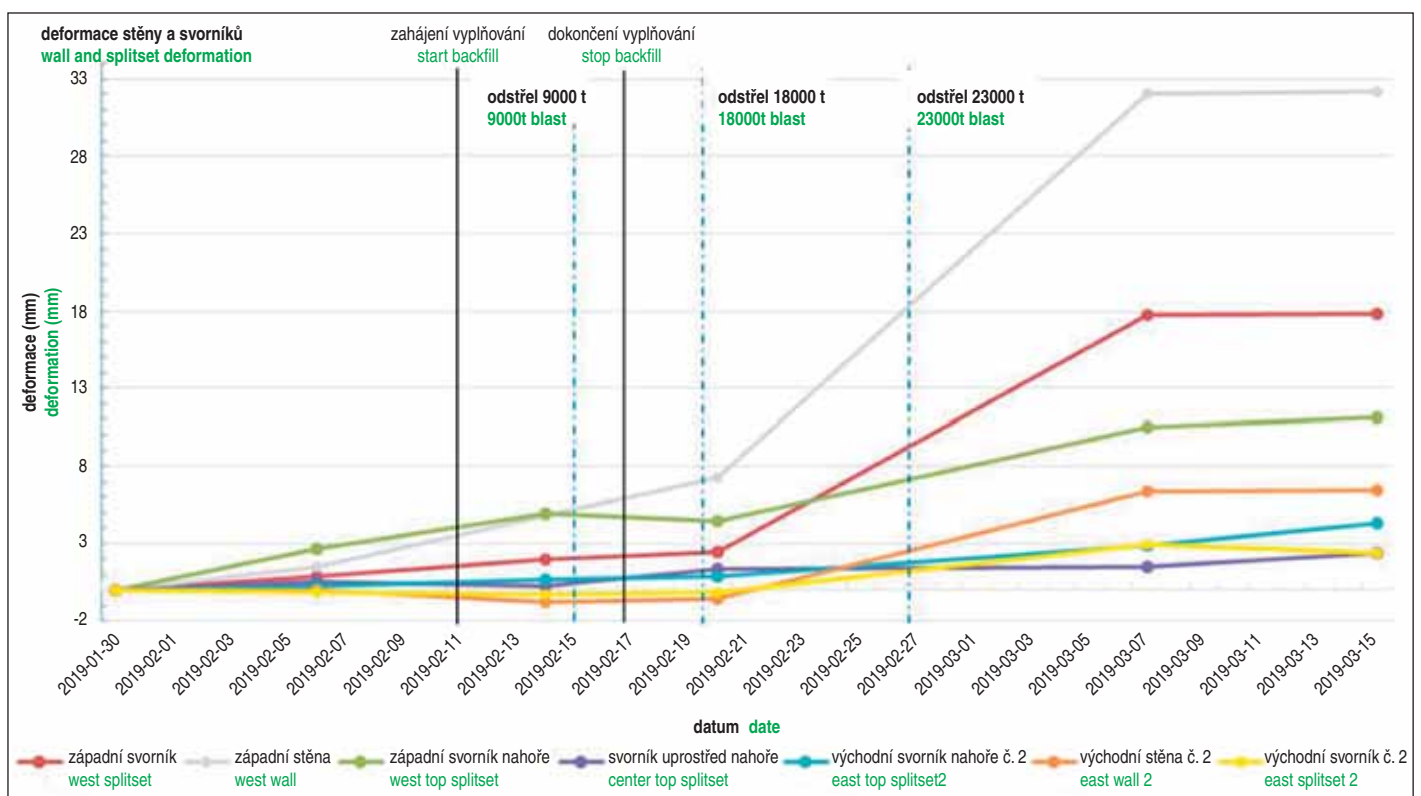
GML stanice byla umístěna v místě nadvýlomu před druhou komorou v hloubce 1,150 m. Obr. 5 (a) zobrazuje prostorové uspo-



Obr. 5.2 Vybrané měřené body ze staničení GL11507
 Fig. 5.2 Selected monitoring points for Station GL11507

shows the monitoring schedule against the related mining activities in surrounding areas.

The GML station was set up within the overcut in front of a secondary stope at a depth of 1,150m. Fig. 5 (a) shows a plan



Obr. 5.3 Vývoj deformací vybraných bodů ve staničení GL11507
 Fig. 5.3 Deformation history of selected points in station GL11507

řádání před budoucí komorou 120–129C a v zaplněných komorách na každé přilehlé straně. V průběhu monitoringu byly prováděny práce na vyplňování komory 115–128D a produkční trhačí práce v komoře 120–129C. Obr. 5 (b) zobrazuje kompletní primární zajištění výrubu a pozice lanových svorníků v nadvýlomu komory. Lanové svorníky s dvojitou klíčkou použité v komoře byly pře-depnuty a opatřeny podložkou. Byla měřena a analyzována odezva deformace pro každý z prvků zajištění výrubu při každém ze série periodických měření ze stejného staničení GL11507.

Tab. 1 Shrnutí skenovacích a hornických aktivit v okolí GML stanice GL11507

datum	činnost
30. leden 2019	360° GML sken č. 1
6. únor 2019	360° GML sken č. 2
11. únor 2019	začátek zaplňování sousední komory 115–128D
14. únor 2019	360° GML sken č. 3
15. únor 2019	odstřel č. 1–9,000 tun v komoře č. 120–129C
17. únor 2019	ukončení zaplňování sousední komory 115–128D
20. únor 2019	360° GML sken č. 4 (dopoledne) a odstřel č. 2 –18,000 tun (odpoledne) v komoře 120–129C
7. únor 2019	odstřel č. 3–23,000 tun v komoře č. 120–129C
7. březen 2019	360° GML sken č. 5
15. březen 2019	360° GML sken č. 6

Po zahájení vyplňování komory 115–128D bylo zaznamenáno, že západní stěna a svorníky v sekci 115–129 vykazují zrychlený vývoj deformace v porovnání s východní stěnou. Tento vývoj byl také dán do přímé souvislosti s pozorováním výronu vody ze západní stěny. V průběhu vyplňování komory 115–128D byl sledován výron vody také z pilíře do oblasti umístění GML stanice. Deformace změřené mezi 30. lednem a 20. únorem před provedením prvních trhačích prací v komoře 120–129C jsou patrné z obr. 5.1b. Jelikož ve sledovaném období nedošlo ke vzniku napětí vlivem trhačích prací, je nárůst deformací o cca 10 mm přisuzován přechodnému tlaku vody v rámci referenčního stavu pilíře. Teplé barvy na obrázku znázorňují pozitivní hodnoty (nárůst) deformací stěny ve směru ke skeneru. Studené barvy pak znázorňují negativní hodnoty (pokles) deformací a reprezentují ztrátu materiálu z povrchu stěny.

Obr. 5.2 zobrazuje pozici vybraných měřených bodů, které byly na stěnách a stropě chodby sledovány pro zjištění vývoje deformací v průběhu celého procesu měření za období 30. leden 2019 až 15. březen 2019. Pro opakované měření (skenování) z daného staničení musely být tyto body pečlivě vybrány tak, aby nedošlo k jejich zakrytí kabely, potrubím, strojním zařízeními a zábranami a zároveň aby nedošlo k překrývání jednotlivých snímků. Pro měření byly vybrány dva frikční svorníky v každé stěně, tři lanové svorníky ve stropě a jedna oblast stěny.

Obr. 5.3 zobrazuje graf vývoje deformací svorníků a stěny v měřených místech (obr. 5.2). Provedené skeny byly v souladu s vizuálně zjištěným pozorováním zvýšené deformace západní stěny ve srovnání se stěnou východní. Obr. 5.3 ukazuje, jak významný rozdíl v deformacích západní stěny byl zaznamenán ve vybrané oblasti oproti východní stěně. Navíc je patrný významný nárůst deformací po provedení třetího odstřelu v komoře 120–129C. Poslední snímkování provedené o dva týdny později již žádné změny deformací vlivem trhačích prací nezaznamenaly.

Automatizované zpracování dat pomocí GML technologie umožnilo získat výše uvedená data týmu geotechniků okamžitě. Dala se tak provést hloubková analýza efektivity zajištění výrubu používaná v průběhu provádění prací. Provedení takové analýzy je při použití konvenčních LiDAR systémů velmi obtížné, jelikož tento postup je časově velmi náročný.

of the scan location in front of the future Stope 120–129C and the backfilled primary stopes on either side. During the monitoring period, activities included the backfilling of Stope 115–128D and blasting of Stope 120–129C. Fig. 5 (b) shows the complete primary ground support and cable-bolting pattern in the stope overcut. The double bulge cable bolts in the stope backs were tensioned and plated. The deformation response for each type of ground support element was measured and analysed over a series of periodic scans from the same location, identified as GL11507.

Tab. 1 Summary of scanning and mining related activities near the GML station GL11507

date	events
30 January 2019	360° GML scan #1
6 February 2019	360° GML scan #2
11 February 2019	start backfilling of adjacent stope 115–128D
14 February 2019	360° GML scan #3
15 February 2019	blast #1 of 9,000 tons in stope 120–129C
17 February 2019	end backfilling of adjacent stope 115–128D
20 February 2019	360° GML scan #4 (am) and blast 18,000 tons (pm) in 120–129C
7 February 2019	final blast of 23,000 tons in 120–129C
7 March 2019	360° GML scan #5
15 March 2019	360° GML scan #6

After commencing the backfilling of Stope 115–128D, it was noticed that the west wall and bolts in the 115–129 draw point indicated a higher rate of deformation than the east wall. This effect was also directly linked with the observation of water draining through the west wall. As backfilling continued in Stope 115–128D, water was observed draining through the pillar, with Stope 115–128D into the drive where the GML station was located. The measured deformation between 30 January and 20 February, before the first blast of the Stope 120–129C, is depicted in Fig. 5.1b. As there was no blast-induced stress change during this period, the observed positive deformation of approximately 10mm is related to the transient water pressure within the draw point pillar. Hot colours in the images represent positive deformations with the wall moving towards the scanner. Cold colours indicate negative deformations and are related to loss of material from the wall surface.

Fig. 5.2 shows the location of the selected point measurements that were on the walls and roof to track the excavation deformation history over the entire duration of the scans conducted from 30 January to 15 March 2019. As repeated scans were conducted at this station, measurement points had to be carefully selected to avoid obstruction of cables, pipes, machinery and fences and to avoid multiple screen overlap. Two Split Sets were chosen in each wall; one wall measurement and three bolts on the roof.

Fig. 5.3 shows a graph of the deformation history of the bolts and wall surfaces at the locations identified in Fig. 5.2. The scans concur with visual field observations of the west wall deforming more than the east wall. Fig. 5.3 reveals that the west wall deformed significantly more compared to the east wall on the selected section. Moreover, it also indicates a step change in deformation with the third and last blast in Stope 120–129C. The last scan, more than two weeks later, shows no further deformation post-blast.

The automated processing capability of the GML was able to provide the aforementioned information immediately to the geotechnical team. This allowed for in-depth analysis on the effectiveness of different ground support used in their mining operations. Such analysis is very difficult to carry out using a conventional LiDAR technology as the process will be significantly drawn out.

Tým společnosti Agnico Eagle Canada byl schopen díky použití in-situ měření v reálném čase izolovat a propojit deformační pohyby s prováděnými činnostmi a charakterizovat tak efektivitu používaného zajištění výrubu. Přínos měření v reálném čase s ohledem na snížení nákladů k provádění těchto činností je v představeném případě zřetelný. Je tak umožněna tvorba strategie zajišťování výrubu pro aktivně se měnící podmínky v podzemí.

ZÁVĚR

V článku byl představen rychlý postup LiDAR technologií se zabudovanými superpočítači umožňující rozvoj řešení úloh v téměř reálném čase. Byly ukázány příklady použití této technologie v hornictví a podzemním stavitelství a jak je díky této technologii možné zvýšit bezpečnost, kvalitu a finanční úspory.

Rychlý pokrok v počítačových technologiích je rozhodně klíčovým prvkem umožňujícím vývojářům a technologům vyvinout nástroje, které mohou významně ovlivnit hornictví a stavebnictví. Nicméně důležitou roli v uvádění a rozvoji těchto inovativních technologií hraje samotné stavebnictví a hornictví svým přístupem k jejich rychlému přijetí v úvodní fázi. To je kritickým faktorem pro jakoukoliv vznikající technologii pro dosažení úspěchů a pro skokové změny v aktuálním vývoji.

PODĚKOVÁNÍ

Rádi bychom poděkovali za dobrou práci provedenou týmem geotechniků vedených Veronique Falmagne z Agnico Eagle Canada, pro jejich nasazení v obtížných podmínkách a dosažení neoddiskutovatelných výsledků, jak bylo prezentováno výše. Rádi bychom také poděkovali realizačnímu týmu projektu WestConnex za jejich moderní a inovativní vedení, jehož výsledkem byla úspěšná implementace technologie měření v reálném čase do běžného procesu ražby.

BENNY CHEN,
benny.chen@groundprobe.com,
GroundProbe,
LOUIS-PHILIPPE GÉLINAS,
philippe.gelinas@agnicoeagle.com,
Agnico Eagle Mines Limited,
LASSE KNABEN,
lasse.knaben@minovaglobal.com,
Minova Nordics AB

Recenzoval **Reviewed:** Ing. Václav Veselý

The team at Agnico Eagle Canada was able to isolate and cross correlate the deformation movements to the mining activities and characterise the effectiveness of their ground support with the aid of real-time in-situ measurement technology. The value of real-time in-situ technology in significantly reducing the overheads of such tasks is illuminated in this case study., thus making it now possible to provision ground support strategy for active mining environment.

CONCLUSION

In this paper we discussed the fast progression of embedded computing and LiDAR technology that enables the development of near real-time in-situ solutions. We also looked at the application of such technology into mining and tunnelling operations and how it was able to change the current ground support practices to achieve improved safety, quality and cost savings.

The rapid advancements in computing technology is certainly a key enabler allowing technology designers to develop tools that could significantly evolve the mining and construction industry. However, the industry plays a very important role in fostering the development of innovative technologies by adopting it at the infant stage. This is critical for any emerging technology to achieve the desired potentials and step change the current state of the art.

ACKNOWLEDGEMENT

We would like to thank the good work done by the geotechnical team, led by Veronique Falmagne, from Agnico Eagle Canada for their hard work in challenging the state of the art and achieving unprecedented results as seen in the publication referenced in this paper. We also thank the construction management team from the WestConnex project for their progressive and innovative leaderships that resulted in the successful implementation of real-time technology into their excavation cycle.

BENNY CHEN,
benny.chen@groundprobe.com,
GroundProbe,
LOUIS-PHILIPPE GÉLINAS,
philippe.gelinas@agnicoeagle.com,
Agnico Eagle Mines Limited,
LASSE KNABEN,
lasse.knaben@minovaglobal.com,
Minova Nordics AB

LITERATURA / REFERENCES

- [1] GELINAS, LP., FALMAGNE, V., BEDARD, B. & MATTE, O.: Advanced geotechnical monitoring technology to assess ground support effectiveness, *J Hadjigeorgiou & M Hudyma (eds), Proceedings of the Ninth International Symposium on Ground Support in Mining and Underground Construction*. 2019. Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 59–74
- [2] CHEN, B., MARES, D., CARTER, N., AYRES, P., VOYSEY, G. Leveraging super-computing and high-density LiDAR technologies for real-time verification and rectification of tunnel construction against design. *ITA-AITES World Tunnel Congress 2020*. Kuala Lumpur, Malaysia
- [3] BERGMANN, N. W. FPGA-Based reconfigurable system-on-chip. *Very Large Scale Integration System-on-Chip (VLSI-SoC2005)*. 2005. Perth, Australia, 2005
- [4] D. LV, X. YING, Y. CUI, J. SONG, K. QIAN AND M. LI. Research on the technology of LIDAR data processing. 2017. *First International Conference on Electronics Instrumentation & Information Systems (EIIS)* Harbin. pp. 1–5
- [5] A. A., & BERGMANN, N. W. Enhancing FPGA softcore processors for digital signal processing applications. 2016 *Sixth International Symposium on Embedded Computing and System Design (ISED)*, pp. 294–298
- [6] Zynq-mp-core-dual.png (800x900). (n.d.). Retrieved 18 September 2019, from <https://www.xilinx.com/content/dam/xilinx/imgs/block-diagrams/zynq-mp-core-dual.png>

UNIPASS – NOVÁ ÉRA VE SVORNÍKOVÁNÍ

UNIPASS – A NEW ERA IN ROCK BOLTING

MICHAEL HOSP

ABSTRAKT

Instalace svorníků a osazování sítí je běžnou technologií, která však může být i časově náročná. Počáteční únosnost plně lepených svorníků je v mnoha případech závislá na rychlosti vytvrzování používaných kotevních směsí na bázi cementu. Vývoj v této oblasti, a to za účasti dvou významných dodavatelů technologií pro hornictví a podzemní stavitelství, vyústil v nový typ vrtacího stroje a kotevního systému, které byly důkladně testovány v laboratorních i reálných podmínkách. První vrtací vůz využívající tento svorníkovací systém byl do běžného provozu nasazený koncem roku 2019 v Kanadě a doposud prokázal svou spolehlivost v běžném režimu provozovaného dolu. Příspěvek shrnuje vývoj technologie, laboratorní a polní zkoušky provedené za účelem ověření funkčnosti systému a poznatky z jeho prvního reálného nasazení v hlubinných dolech v Severní Americe.

ABSTRACT

Rock bolting has for a long period considered to be a bottleneck in underground mining and tunnelling. Initial stability for fully grouted bolts is in many cases dependant on the curing time of the cement grouts used. Recent developments in this sector by two major suppliers to the mining and tunnelling industry have resulted in a new type of bolting rig and new bolting system which have been tested extensively in laboratories and in the field. The first rig using this technology was put into operation in Canada towards the end of 2019 and has already proven its reliability in a production environment. The paper summarizes the development of this technology, laboratory and field trials undertaken to verify the system and first applications in underground mines in North America.

PŘEDSTAVENÍ TECHNOLOGIE

Svorníkování je již dlouhou dobu považováno za standardní součást vyztužování v konvenčním (cyklickém) podzemním stavitelství a v hornictví. I v dobrých geologických podmínkách vyžaduje velká část instalace systémů pro zajištění výrubu jistou manuální námahu pro provedení těchto prací. Plně mechanizovaná instalace, automatizace nebo dálkově ovládané provádění těchto prací není přitom běžně využívané nebo není vůbec dostupné, i když je v současnosti po takovém řešení poptávka a vývoj v této oblasti je podporovaný.

Vedle bezpečnostních hledisek spojených s manuální instalací sítí nebo svorníků se musí pracovníci navíc pohybovat také v prostoru výrubu pouze částečně zajištěném, případně i zcela nezajištěném. K tomu přistupuje nevyhnutelný fakt, že práce v podzemním stavitelství nebo hlubinném hornictví jsou čím dál tím častěji prováděny v obtížných geologických podmínkách. V podzemním stavitelství je to výsledkem projektování přímějších tras tunelů pro vyšší průjezdné rychlosti, a to zejména u železničních staveb. To vede k ražbám s vyšším nadložím a v obtížnějších geotechnických poměrech. Průřezy ražených tunelů pro dopravní stavby bývají přitom většinou větší, než jsou profily typické pro hlubinné hornictví.

V hlubinném hornictví se pro dosažení vysoké kvality a velkých objemů dobývaných surovin práce provádějí čím dál hlouběji. V souvislosti s vyšším nadložím narůstají také napětí v horninovém masivu a v mnoha případech překračují přirozenou pevnost horniny danou geologií v oblasti otevřených čeleb. Mimořádné události – závaly, porušení stability masivu či výztuže apod. – pak mají mnohem zásadnější průběh.

Rychlá instalace zajištění výrubu, tzn. co nejdříve po odtěžení horniny, je tudíž základním požadavkem. Vyšší důraz je přitom kladený jak na efektivnost použitého systému, tak i na efektivitu samotné instalace systému.

Výše uvedené skutečnosti potom, spolu se vzrůstajícími nároky na bezpečnost pracovníků, vedou k častějšímu využívání mechanizace a nakonec i plně automatizaci instalace systémů pro zajištění výrubu.

INTRODUCTION OF THE TECHNOLOGY

Rock Bolting has been considered a bottleneck in cyclic tunnelling and mining for many years. Even in good rock conditions, a large portion of the installation process of ground support requires at least some manual interference to get the job done. Fully mechanised installation, automation, or remote-controlled installation of ground support are not commonly used or even available, even though there is now a desire and encouragement to introduce such solutions.

Besides the safety issues related to manual handling of ground support such as mesh and rock bolts, operators are close to partially supported or sometimes even unsupported rock. It is a given that both tunnelling and mining activities are increasingly exposed to more difficult ground conditions. For civil tunnels this is a consequence of designing straighter routes in order to achieve higher speeds, especially for railways. This leads to the openings being exposed to higher overburden and more difficult geology and ground conditions. In addition, cross-sections excavated in tunnelling are typically bigger compared to mining.

In mining, operations are moving deeper and deeper in order to mine resources with attractive grades and volumes. In line with higher overburden, the stresses in the rock increase and in many cases exceed the natural strength of the given mineralogy and geology around the openings. Rock failures become more violent.

Therefore, a quick installation of ground support as early as possible after the excavation is of essence. Higher concern is put on both, the effectiveness of ground support and the efficiency of ground support installation.

The above, as well as an increasing demand for safety for the operators, points to a higher level of mechanisation and ultimately to full automation for the installation of ground support.

DEVELOPMENT OF A NEW BOLTING METHODOLOGY AND SYSTEM

Epiroc, who is a well-known OEM for underground capital equipment, have successfully developed and marketed drill rigs for

VÝVOJ NOVÉ SVORNÍKOVACÍ METODY A SYSTÉMU

Společnost Epiroc, která je známým dodavatelem strojního vybavení pro podzemní výstavbu, úspěšně vyvíjí a dodává desítky let vrtací vozy pro podzemní stavitelství a hornictví. Vyvíjí také různé typy svorníkových vozů pro instalaci tyčových a lanových svorníků, nakladače a přepravní vozy typu LHD (Load / Haul / Dump – nalož, přeprav, vylož).

Společnost Minova pak patří mezi přední dodavatele materiálů a technologií pro stabilizaci horninového prostředí, chemických injekčních materiálů, cementových hmot a příslušenství pro kotvení. Obě společnosti přitom působí po celém světě.

V polovině minulých dekády se obě společnosti dohodly na spolupráci při vývoji nového svorníkovacího systému a metody, s cílem významně zvýšit rychlost instalace systémů pro zajištění výrubu bez ohledu na kvalitu horninového prostředí a s cílem zvýšit bezpečnost obsluhy u podzemního výrubu eliminací manuální práce a s minimalizací pobytu posádky při práci v nezajištěném prostoru v průběhu pracovního cyklu.

S ohledem na zaměření obou společností firma Epiroc vyvinula plně integrované řešení pro zpracovávání injekčních pryskyřic a instalaci svorníků do jejich vrtacích vozů a společnost Minova vhodný typ svorníku, injekčních pryskyřic a přispěla svou dlouholetou zkušeností s čerpací technikou pro pryskyřice a systémy svorníků.

Přirozeným partnerem při zkoušení a vyhodnocování výsledků se v průběhu vývoje stala švédská důlní společnost LKAB (Luossavaara-Kiirunavaara AB), která poskytla podzemní prostory pro zkoušky velkého rozsahu. Tuto společnost vedla ke spolupráci okamžitá potřeba využívat takto vyspělý systém svorníkování pro další bezpečný rozvoj a rovněž zeměpisná provázanost uvedených spolupracujících firem.

Část vývoje této technologie probíhala v rámci evropského projektu SIMS (Sustainable Intelligent Mining Systems – Udržitelné inteligentní důlní systémy) za účasti Technické univerzity Lulea ve Švédsku.

tunnelling and mining as well as bolting rigs for various types of rock bolts and cable bolts, and underground LHD's (Load / Haul / Dump) and mine trucks for decades.

Minova is one of the leading suppliers of ground support products, cementitious powders, grouts, polymeric resins, and supporting equipment. Both companies operate on a global level.

In the middle of the last decade, both companies agreed to develop a bolting system and methodology with the intention to significantly improve the speed of installation of ground support, regardless of the ground conditions and to improve safety for the operators by eliminating the need for manual interference and exposure to hazardous roof conditions during the bolting cycle.

Given the expertise of the respective companies, Epiroc developed a fully integrated solution for the handling of bulk resin and rock bolts on their rig, whereas Minova developed suitable rock bolts, a customised series of bulk resins and contributed with its long-term experience in resin pumping technology and bolting solutions.

Due to the immediate need of such an advanced bolting system and the geographical closeness, LKAB (Luossavaara-Kiirunavaara AB) became the natural partner for the evaluation of the developments and contributed in kind by providing the underground facilities for the large-scale field trial.

Part of the development work was run under the European SIMS (Sustainable Intelligent Mining Systems) project, involving Lulea University of Technology, Sweden.

The objectives of the development were spread over several aspects of the installation of ground support, such as safety, geotechnical, productivity, and quality control.

The Epiroc Boltec bulk resin rig

Epiroc developed, based on their Boltec series of bolting rigs, a Boltec E Bulk Resin rig. The Boltec range offers several options, e.g. for expandable bolts, friction bolts, or rebars installed with resin cartridges or cement grout. Solutions for the installation of cables exist as well.



Obr. 1 Svorníkovací stroj Boltec E Bulk Resin se zobrazením funkčních celků systému
Fig. 1 The Boltec Bulk Resin machine illustrating functional operations

zdroj Epiroc source: Epiroc

Cíle vývoje byly rozděleny do několika aspektů zahrnujících instalaci prvků, zajištění bezpečnosti, geotechniku, produktivitu a kontrolu kvality.

Svorníkovací stroj Epiroc Boltec

Společnost Epiroc vyvinula na základě své řady svorníkovacích strojů Boltec nový stroj s názvem „Boltec E Bulk Resin“. Řada Boltec v tom nabízí několik možností osazení a nasazení stroje, např. pro hydraulicky upínané svorníky, svorníky frikční a svorníky tyčové upínané pomocí lepicích ampulí nebo cementovými tmely. U těchto mechanismů je dostupné také řešení pro instalaci lanových svorníků.

Svorníkovací vůz „Boltec E Bulk Resin“ obsahuje následující prvky (obr. 1):

1. zabudované zásobníky na dvousložkovou pryskyřici;
2. zabudovaný zásobník svorníků;
3. automatizované nebo dálkově ovládané provádění svorníkování z kabiny vozu;
4. zabudovaný systém registrace dat;
5. injekční přípojka;
6. manipulátor pro osazování sítí;
7. utahovák.

Celý proces manipulace se svorníky a jejich instalace je řízen z kabiny stroje, a to včetně manipulace se sítí a dotahování matic svorníků, je-li to zapotřebí. Instalační proces sestává z následujících kroků:

- rotačně přiklepného zavrtání dutého svorníku s osazenou podložkou a maticí;
- stažení svorníku zpět a jeho sevření kleštinami pod podložkou;
- odpojení vrtacího kladiva od svorníku;
- stažení vrtacího kladiva do krajní polohy a nasunutí injekčního adaptéru;
- přitáhnutí injekčního adaptéru a napojení na svorník;
- otevření kleštin a zatlačení svorníku do vrtu;
- zahájení injektáže a její pokračování tak dlouho, dokud nevystoupí pryskyřice u ústí vrtu;
- udržení přítlaku lafety do vytvrzení pryskyřice (20 až 40 sekund);
- odpojení injekčního adaptéru a stažení lafety;
- dotažení matice (pokud je potřeba).

Svorníkovací systém Minova „UniPass“

Minova vyvinula svorníkovací systém „UniPass“, který spojuje výhody použití dutých zavrtávacích svorníků a injekčních pryskyřic.

Duté zavrtávací tyče (SDA/IBO) jsou dobře známým prvkem a v posledních 45 letech jsou běžně používány v podzemním stavitelství a v geotechnice, zejména pro stabilizaci svahů a jako mikropiloty. Tyto tyče jsou opatřeny průběžným závitem a obvykle mají omezenou hodnotu tažnosti, což je činí nevhodnými pro konvergující horninové prostředí nebo pro prostředí s dynamickým namáháním.

Proto byla společností Minova pro systém „UniPass“ vyvinuta nová řada zavrtávacích svorníků pro kvazistatické, konvergující a dynamické podmínky. Všechny tyto svorníky mohou být používány jako samozavrtávací se ztracenou korunkou s okamžitě provedenou injektáží po dovtvání. Tento postup je známý také pod pojmem 1Step Bolting (svorníkování v jednom kroku). Alternativně mohou být ale také vloženy do hotového vrtu s následnou injektáží a tento postup je potom známý jako 2Step Bolting (svorníkování ve dvou krocích).

Pro použití v oblastech s velkými deformacemi, ale bez dynamických projevů, byl vyvinutý speciální zavrtávací svorník „UniPass Yielding Bolt“ – kluzný svorník UniPass (obr. 2). Tento svorník

The Boltec Bulk Resin machine comes with the following features (shown in Fig. 1):

1. onboard containers for the 2-component resin;
2. onboard bolt magazine;
3. bolting operations automated or remote controlled from the cabin of the rig;
4. onboard logging and recording;
5. injection nozzle;
6. mesh handling system;
7. system to tighten the bolt nut.

The entire bolt handling and installation is controlled from the cabin of the Boltec rig. This includes mesh handling and tightening the bolt nut, if required.

The installation process consists of the following steps:

- roto-percussive drilling the hollow bar with plate and nut mounted;
- pulling back the drilled bolt and grip the bolt beneath the plate;
- disconnection of the shank from the rock bolt;
- pulling the hammer back to the near end of the feed and sliding in the resin injection adapter;
- pushing the resin injection adapter to the front and connecting it to the bolt;
- opening the grippers and pushing the bolt into the hole;
- start the injection process and keep pumping the resin until it becomes visible at the borehole collar;
- maintain feed pressure on the bolt until the resin is cured (20 to 40 seconds);
- remove the injection adapter and the feed;
- tighten the bolt nut (if required).

The Minova UniPass bolting system

Minova developed the UniPass rock bolting system. This system encompasses a range of hollow bolts and bulk resins.

Hollow bars (SDA/IBO) are a well-known product over the last 45 years and are typically used in tunnelling and ground engineering, especially slope stabilisation and micropiling. The bars are fully threaded and typically have a limited ductility making them unsuitable to respond to converging ground or dynamic conditions.

For the UniPass application, Minova developed a family of self-drilling hollow bolts for quasi-static, converging and dynamic conditions. All bolts can be used as self-drilling bolts with a sacrificial drill bit. This process is also referred to as 1Step bolting. Alternatively, they can be inserted into predrilled boreholes, which is referred to as 2Step bolting.

The Minova UniPass Yielding Bolt was developed for ground conditions which result in high convergences, however without dynamic events (Fig. 2).

This bolt shows extraordinary elongation properties on a defined section of the bolt (Fig. 3), whereas the bond sections are rigid securely anchoring the bolt.

For dynamic environments, the UniPass Dynamic Bolt was developed (Fig. 4). The dynamic performance of the bolt was verified in the standard drop tests (Fig. 5) used around the globe in different locations. LKAB's requirements for 30kJ in load case 1, and 19kJ in load case 2, both at 5m/s were achieved and exceeded.

By adapting steel grades and resin properties single impacts of up to 50kJ (Fig. 6) and multiple impacts of up to 30kJ (Fig. 7) were achieved at a drop speed of 5m/s and above without failure.

CarboThix bulk resin

Minova has supplied its patented CarboThix silicate resin into the global mining and tunnelling industry for more than a decade.



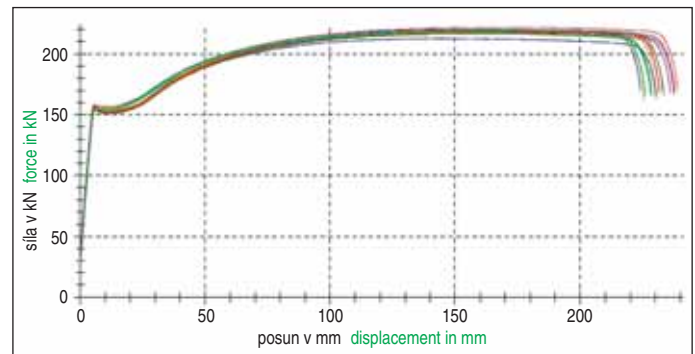
Obr. 2 Kluzný svorník UniPass

Fig. 2 The Minova UniPass Yielding Bolt

se vyznačuje vynikajícími parametry protažení na definované části tyče/táhla (obr. 3), kdy zbývající část instalovaného svorníku zůstává pevně ukotvena/zalepena v horninovém prostředí.

Pro oblasti s dynamickými projevy zatížení byl vyvinut „UniPass Dynamic Bolt“ – dynamický svorník UniPass (obr. 4). Technické parametry svorníku byly ověřeny standardním rázovým testem (Drop Test, obr. 5), který je používán po celém světě. Požadavky LKAB byly: odolnost vůči rázové energii 30 kJ a 19 kJ při pádové rychlosti 5 m/s; tyto hodnoty byly s rezervou dosaženy.

Volbou třídy oceli a vlastností injekčních pryskyřic bylo při zkouškách dosaženo absorpce energie 50 kJ při singulárním rázu (obr. 6) a až 30 kJ při vícenásobném rázu (obr. 7) při pádové rychlosti 5 m/s, a to bez známek jakéhokoliv porušení svorníků.



Obr. 3 Graf deformace kluzného svorníku UniPass se sekci délky 200 mm

Fig. 3 Elongating performance of the UniPass Yielding Bolt 200mm



Obr. 4 Dynamický svorník UniPass

Fig. 4 The Minova UniPass Dynamic Bolt

Injekční pryskyřice CarboThix

Společnost Minova celosvětově dodává svou patentem chráněnou organicko-minerální (silikátovou) pryskyřici CarboThix uživatelům v hornictví a v podzemním stavitelství již více než 10 let.

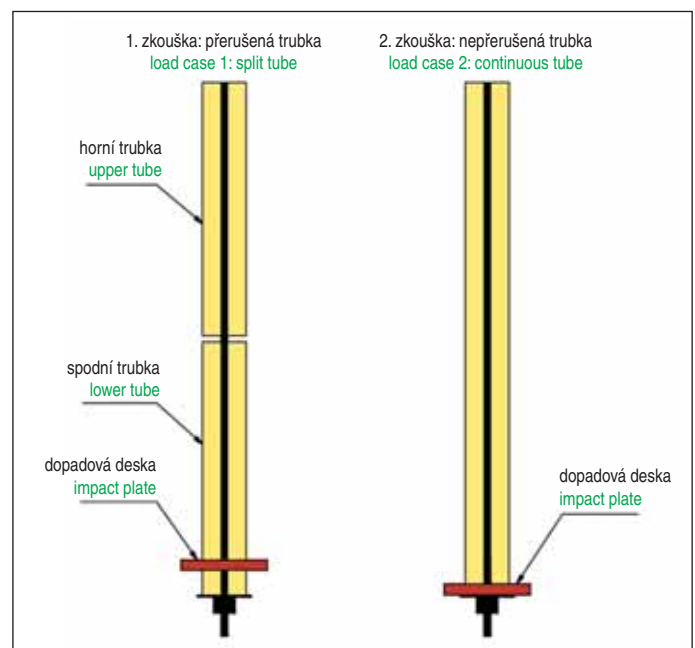
V rámci vývoje nové technologie UniPass byly upraveny receptury pryskyřice CarboThix tak, aby se minimalizovala doba vytvrzování při použití svorníků typických délek 2,4 m a 3,6 m a snížila se tak čekací doba po dokončení injektáže. Bylo nutné zohlednit také řadu environmentálních požadavků adresovaných z hlubinných dolů a podzemních staveb z celého světa; tím vznikla úplně nová řada pryskyřic. Tento nový typ umožňuje uvolnit přítlak lafety a odpojení injekčního adaptéru již 20 sekund po dokončení injektáže. To zvyšuje produktivitu práce a umožňuje rychlou aktivaci svorníku a dotažení matice, je-li to nutné. Nové receptury s rozdílnými časy vytvrzování byly důkladně zkoušeny pro získání nejlepší možné kombinace pryskyřice a svorníku, a to k zajištění bezpečného přenosu zatížení mezi horninovým prostředím a svorníkem, jak při statickém, tak i dynamickém namáhání.

VÝSLEDKY Z PROVOZNÍCH ZKOUŠEK

Celý systém byl dlouhodobě zkoušen v dole Malmberget společností LKAB. Naprosto cíleně byly zkoušky prováděny v nejtěžších podmínkách daného dolu, a to v místech, kde se vyskytovaly tektonicky velmi postižené a současně také velmi pevné horniny, s pevností v tlaku až 450 MPa.

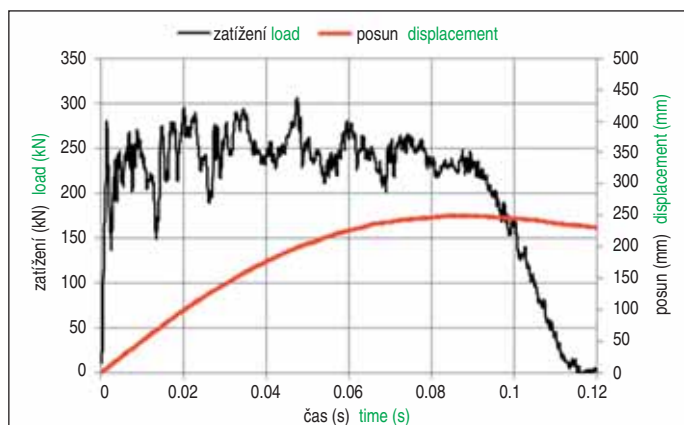
V průběhu zkoušky s nasazením prototypu svorníkovacího stroje Boltec E Bulk Resin bylo nainstalováno cca 1 300 kusů svorníků. Vedle finálního ladění stroje a souvisejících komponent systému bylo dále seznámeno a proškoleny k bezpečnému a efektivnímu používání této technologie více než 50 techniků a vrtmistrů z dolů spo-

Minova adapted the formulations of CarboThix to minimize the curing time of the bulk resin for standard rock bolts with a typical length of between 2.4 and 3.6m and to reduce the holding time after the resin injection. Different environmental conditions in underground mines and tunnels around the globe were also considered, and a family of new resin formulations were developed.



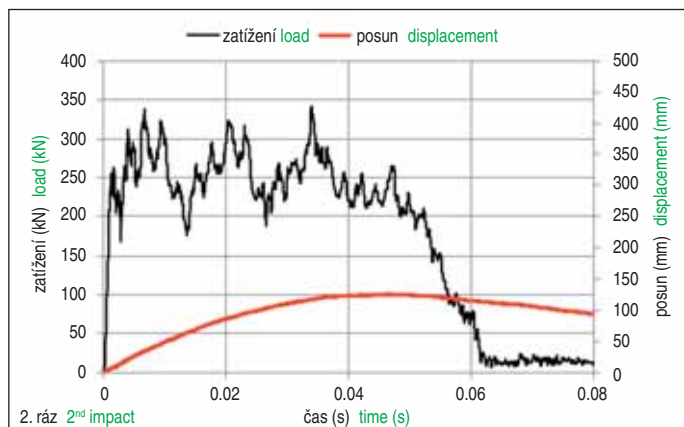
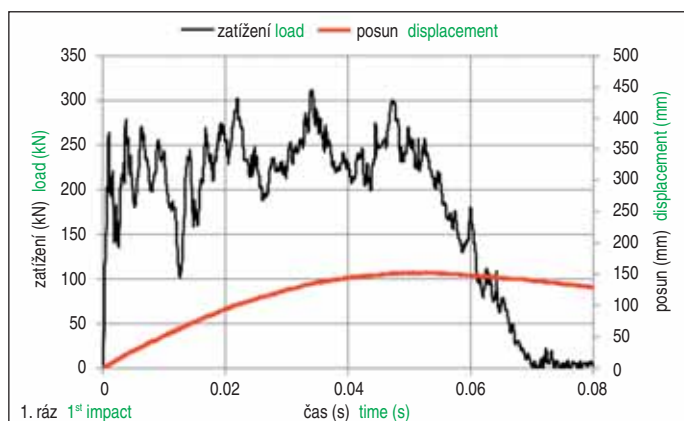
Obr. 5 Dynamická rázová zatěžovací zkouška (Drop Test) – případ 1 – přerušená trubka, případ 2 – nepřerušená trubka

Fig. 5 Dynamic testing load cases (Drop Test): load case 1 split tube and load case 2 – continuous tube



Obr. 6 Dynamické zatížení/přetvoření při jednom rázu o energii 50 kJ a rychlosti 5,44 m/s

Fig. 6 Dynamic load/displacement curve for an impact of 50kJ at 5.44m/s



Obr. 7 Dynamické zatížení/přetvoření při dvou po sobě následujících rázech o energii 30 kJ a rychlosti 5,52 m/s

Fig. 7 Dynamic load/displacement curve for two consecutive impacts of 30kJ at 5.52m/s

lečnosti LKAB. Zkoušek se zúčastnilo a s touto pokrokovou technologií se seznámilo rovněž dalších více než 100 externích návštěvníků z celého světa.

Produktivita

Při provádění technologických zkoušek bylo cílem seznámit a proškolení maximální možný počet vrtmistrů. Očekávaný nárůst produktivity instalace svorníků byl přitom dosažen již v průběhu těchto zkoušek. Předpokládané cíle byly překročeny, protože průměrná dosažená produktivita činila 11 instalovaných svorníků za hodinu, včetně paralelní instalace ochranných sítí. Na obr. 8 je pohled z kabiny svorníkovacího vozu, na obr. 9 rameno stroje se zásobníkem svorníků.

S postupem technologických zkoušek systému narůstala úroveň

These formulations allow the release of the feed pressure and to remove the injection adapter only 20 seconds after the bolt is injected, which further improves productivity and allows for early load bearing capacity and tightening of the nut, if required.

The new formulations feature different speeds of curing and were extensively tested to ensure the best possible match between the respective formulation and the rock bolts to ensure a safe load transfer between bolt and rock in static, converging and dynamic conditions.

RESULTS OF THE LARGE-SCALE FIELD TRIAL

The system was tested extensively in LKAB's Malmberget mine. Intentionally, the field trial was completed in the worst possible conditions in the mine, encountering highly fractured and hard rock with a compressive strength up to 450MPa.

During this trial, based on a prototype Boltec E bulk resin rig, circa 1,300 bolts were installed. Besides final adjustments on the rig and related components more than 50 operators and service technicians from both LKAB mines were introduced and trained on the safe and efficient operation of the bolting rig. Over 100 visitors from around the globe visited the trial and witnessed the step-changing technology.

Productivity

The field trial was used to involve as many bolting operators as possible and to train them on the Boltec rig. Nevertheless, the expected increase of productivity of the bolt installation was already achieved during the field trial. The original aim was exceeded since an average of 11 bolts were installed per hour with mesh being installed in parallel. Fig. 8 shows a view of the bolter from the operator's cab. Fig. 9 shows a view of the rig feed with preloaded bolt magazine.

At the end of the field trial the learning curve was still pointing up. Provided more practise and experience the operators expected their productivity to increase to an average of 15 bolts per hour including mesh handling and installation.

The graph in Fig. 10 shows the number of bolts installed during the total working time spent at the face. This time includes all other activities around the bolt installation, such as tramming in between rows of bolts and positioning, set-up and pack-up, bolting, mesh handling, reloading the bolt magazine, etc.

Quality

The self-drilling hollow bolts facilitated the bolt installation especially in highly fractured and damaged ground conditions. The resin grout is force mixed by a static mixer installed just before the bolt, ensuring complete mixing of the components. Pumping rates and control of volume flow and pressure guarantee a high-quality resin entering the rock bolt and the borehole to facilitate its specified performance after curing.

Full encapsulation of the bolt is guaranteed due to online control of the volume injected and visual control of the resin grout appearing at the borehole collar.

Adaptation of the formulation to the respective environmental conditions ensures minimal time until the bolt is securely anchored in the borehole. 55 bolts were pull tested up to 200kN – no bolt failed or slipped.

Economics

Economic considerations will vary significantly between mines, depending on the type of bolts (length/diameter), grouting volumes and bolting technology used and considered to be the reference for UniPass bolting. This refers to improvement of productivity as



Obr. 8 Pohled z kabiny svorníkovacího vozu – v popředí monitor – digitální ovládací pult
 Fig. 8 View out the front of the operator's cab – note the visibility of the digital controls

znalostí operátorů. Při delším používání a získání souvisejících zkušeností mohou vrtmistři očekávat další zvýšení produktivity práce až k 15 instalovaným svorníkům za hodinu, včetně ochranných sítí.

Graf z obr. 10 ukazuje celkový počet instalovaných svorníků v čase stráveném na čelbě. Tento čas zahrnuje veškeré další činnosti spojené s instalací svorníku, jako jsou přesuny polohy mezi návrtnými body, vytažení a stažení lafety, samotné svorníkování, manipulace s ochrannou sítí, doplnění zásobníku svorníků atd.

Kvalita

Zavrtávací kotevní tyče jsou s výhodou využívány při instalaci svorníků ve velmi porušeném horninovém prostředí. Jednotlivé složky injekční pryskyřice jsou hydraulicky smíchány ve statickém směšovači, který je osazen před zhlavím svorníku; je tak zajištěno dokonalé promíchání obou složek. Rychlost čerpání a kontrola množství a tlaku přitom zajišťují vysokou kvalitu pryskyřice vstupující do svorníku tak, aby byly zajištěny požadované parametry injekční hmoty po vytvrzení.

Plné zalepení svorníku je zajištěno díky online kontrole injektovaného množství a vizuálně pak výronem prstence hmoty u ústí vrtu. Úpravou receptur pro dané podmínky prostředí je dosaženo minimální čekací doby do kompletního vytvrzení pryskyřice ve vrtu. Bylo provedeno celkem 55 tahových zkoušek svorníků silou 200 kN – a to bez proklouznutí nebo poškození jediného svorníku.

Ekonomika

Ekonomické vyhodnocení nasazení technologie UniPass se může významně lišit pro různá důlní pracoviště v závislosti na typu

well as with regards to geotechnical improvements related to faster curing of the resin.

In the case of LKAB, the number of bolts installed per hour more than doubled, considering that the higher number was achieved despite installing mesh in parallel to the bolting cycle. Using bulk resin relieves the operator from cleaning and preparing a cement-based system which at LKAB translates to a loss of at least one operating hour per shift.

A self-drilling bolt circumvents issues with collapsing boreholes and related re-drilling / cleaning efforts and eliminates the need for drilling a new hole. Faster curing of the resin grout allows for an earlier start of drilling the next round and therefore speeds up the process of developing headings.

Early strength of the support system minimizes ground movement and disintegration of the ground, optimizing the performance of the ground support and delaying rehabilitation. Quality of bolt installation can be verified continuously which can potentially eliminate the need of extra rock bolts and minimise pull testing.

As opposed to a cement system, the pump and injection process can be started and stopped at any given time with no additional need to clean the system. During the field trials the (filled) resin system was sitting unused for four weeks and could be restarted without any additional maintenance.

The resin injection nozzle can be used for many bolts in a row without the need of cleaning after every round of installation or even every shift. Spillage during the installation was seldom and minor (limited to the volume of a small cup) and was reduced to

používaných svorníků (jejich délce/průměru), spotřebě injekčního materiálu a dosud používané svorníkové technologie. Zahrnuje to i zvýšení produktivity práce a také zlepšení geotechnických parametrů horniny s ohledem na rychlé vytvrzování pryskyřice.

V případě dolu společnosti LKAB se počet svorníků instalovaných za hodinu více než zdvojnásobil, a to i přesto, že zároveň se svorníkováním byla prováděna také instalace ochranných sítí. Používání injekčních pryskyřic snižuje pracnost při čištění a přípravě cementových kotevních směsí, což představuje u LKAB ztrátu minimálně 1 hodiny pracovního času ze směny vrtníka.

Použití zavrtávacího typu svorníku efektivně řeší problém zavrtávání se vrtů a potřebu převrtávání/čištění vrtů a eliminuje tak případnou potřebu vrtání nového vrtu. Rychlejší vytvrzování pryskyřice umožňuje dřívější zahájení vrtných prací v dalším pracovním kroku, a proto také pozitivně ovlivňuje dobu postupu prací.

Rychlé zajištění výrubu minimalizuje pohyby horninového masivu, snižuje jeho rozvolňování a umožňuje tak optimalizaci výkonu zajištění stability horniny a případné nutnosti jejich následných oprav. Kvalita provedeného svorníkování může být kontinuálně ověřována, což může potenciálně omezit nutnost instalace dalších svorníků a minimalizovat provádění tahových zkoušek.

Oproti systémům využívajících cementové směsi může být čerpání a injektáž hmoty zahájena a ukončena kdykoliv, bez nutnosti čištění celého systému. V průběhu zkušebního provozu byl stroj odstavený na dobu čtyř týdnů, a přestože v něm zůstala nepoužitá kotevní hmota, byl po návratu k činnosti jednoduše spuštěn a používán bez nutnosti jakékoliv zvláštní údržby.

Injekční adaptér může být použitý pro velké množství osazovaných svorníků, a to bez nutnosti jej čistit po každé aplikaci, dokonce ani po celé směně. K úkapům injekčního materiálu při svorníkování docházelo jen zřídka a byly minimální (v množství malého šálku na nápoje) a se stoupající zkušeností obsluhy byly téměř eliminovány. A jelikož úkapy tvoří již smíchaná pryskyřice reagující v řádu sekund, a tudíž vytvrzená, nepředstavují úkapy žádné riziko.

POZNATKY Z PRAXE

Na podzim roku 2019 byl dodán první svorníkový vůz z osmi objednaných zákazníkově do Kanady. V počáteční fázi a zaškolování bylo dosaženo rekordního času 2,5 minuty pro instalaci svorníku délky 2,4 m. O měsíc později byl zaznamenán rekordní týdenní postup ražby v délce díla 160 m.

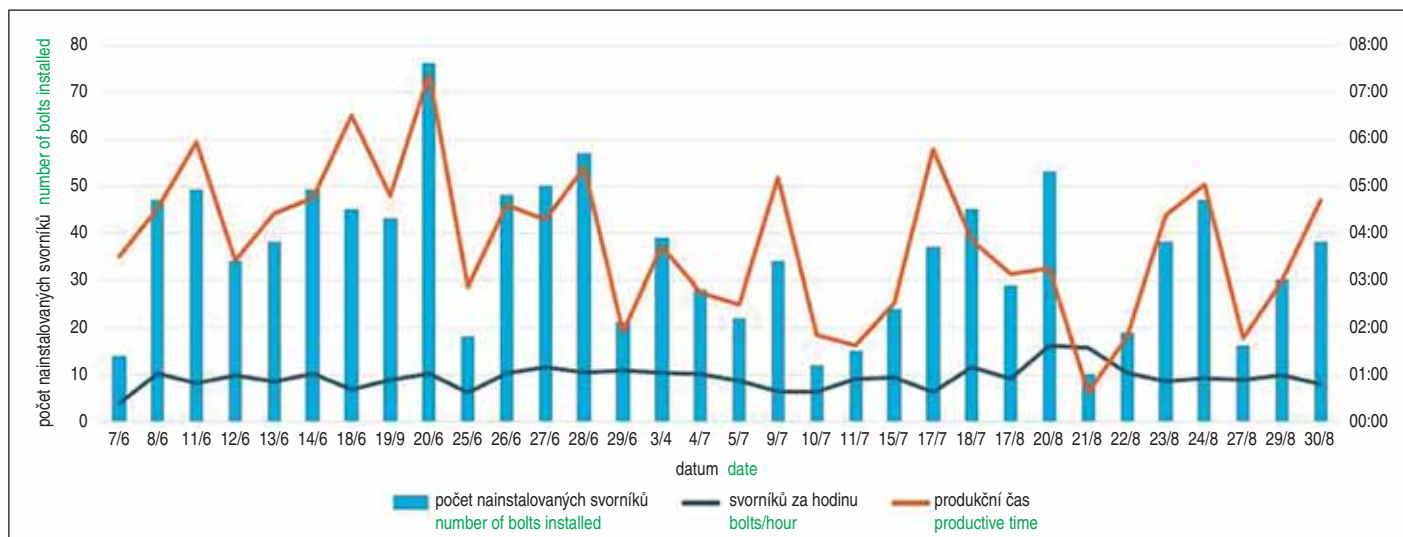


Obr. 9 Naplněný zásobník svorníků na lafetě (navržen pro 10 svorníků)
Fig. 9 A preloaded bolt magazine on the feed is designed to hold 10 bolts

almost zero with experience. Since the spillage consists of mixed resin, it cures within seconds and does not represent a risk.

FIELD EXPERIENCE

In fall 2019 the first Boltec rig of 8 rigs ordered was delivered to a customer in Canada. During start up and training the installation



Obr. 10 Graf výkonnosti instalace svorníků při zkouškách
Fig. 10 The installation data captured during the field trial

zdroj: Epiroc/LKAB source Graph courtesy of Epiroc/LKAB

Komplexní technologie vzbuzuje velký zájem trhu a objednávky na svorníkovací vozy a vhodný typ systému UniPass přicházejí od zákazníků z Afriky, Austrálie, SNS, Evropy a Severní Ameriky.

Jelikož tato technologie nabízí řadu výhod, je zákazníky využívanější běžné vrtací vozy vyhledávána možnost adaptace nového systému také na jejich stávající stroje. Jakmile to bude dostupné, bude to rovněž znamenat rozšíření této technologie vedle hornictví i v podzemním stavitelství.

Shrnutí výhod

Mezi výhody představeného systému UniPass patří:

- zvýšení bezpečnosti:
 - omezení přítomnosti pracovníků na čelbě;
 - snížení objemu manuální práce;
 - velmi brzké zajištění výrubu díky rychlosti reakce pryskyřice;
- zvýšení efektivity svorníkování:
 - zvýšená rychlost postupu/zkrácení pracovního cyklu;
 - automatizace/kompatibilita s dálkovým ovládním;
 - zjednodušení logistiky pro spotřební materiál;
- okamžité zajištění výrubu:
 - minimalizace narušení horninového masivu;
 - rychlost systému poskytující plné zajištění výrubu krátce po injektáži (jen sekundy/minuty ve srovnání s hodinami/dny pro cementové směsi);
 - neomezený objem pryskyřic nastavitelný podle lokálních podmínek s přihlédnutím k trhlinám a volným prostorům v masivu;
- zaručení kvality svorníkování:
 - svorníkovací systém s vysokým výkonem i v obtížných hydrogeologických podmínkách;
 - garantovaná kvalita smíchání pryskyřice pro kvalitní aplikační výsledek;
 - zabudované sledovací a registrační zařízení poskytující kontrolu kvality pro každý svorník;
- zjednodušení technologického procesu:
 - není potřeba čistit injekční adaptér (jako u cementových směsí) – vzniká úspora 1–1,5 hodiny na směnu;
 - spolehlivé řešení i při dlouhodobé odstávce stroje bez nutnosti vyprázdnit zásobníky a přívod injekční směsi;
 - plné zalepení svorníku (s přenosem zatížení a antikorozi ochranou) a dokonalé promíchání injekce;
 - odstranění chyb v instalacích ampulí (tzv. „rukavicový“ efekt);
 - nedochází ke ztrátě lepicích ampulí při jejich nastřelování do vrtu nebo při jejich zaseknutí kvůli neprůchodnosti vrtu;
 - nedochází ke ztrátám lepicí hmoty v trhlinách horniny při instalaci svorníku;
- ověření svorníku a pryskyřice:
 - důkladnými zkouškami v laboratoři a in-situ.

*Dipl.-Ing. MICHAEL HOSP,
michael.hosp@minovaglobal.com,
Minova International Limited*

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

time for a 2.4m self-drilling bolt hit a record number of 2.5 minutes per bolt. One month later a record advance rate of more than 160m of tunnel for one week was reported.

The technology has raised a lot of interest in the mining industry, with rigs and different types of the UniPass system ordered from customers in Africa, Australia, CIS, Europe, and North America.

Since this technology offers a variety of benefits for rock bolting, operations using face drilling rigs for rock bolting are supporting the adaptation of the system to fit onto face drilling equipment. Once available this would allow for an application of this new technology in civil tunnelling as well.

Summary of benefits

In summary, the benefits of the UniPass system are:

- improved Safety:
 - keeping the miners away from the face;
 - reduce manual handling;
 - early support due to fast curing of resin;
- increased bolting efficiency:
 - improved advance rate /cycle times;
 - automation/remote control compatible;
 - simplified logistics for consumables;
- immediate ground support:
 - minimized disruption of rock integrity;
 - fast system providing full support capacity shortly after injection (seconds/minutes compared to hours/days for cement);
 - unlimited resin volume, adjustable to local conditions regarding cracks and voids;
- quality assured bolting:
 - high performing bolting system even in wet and challenging ground conditions;
 - guaranteed resin mixing for high quality installation;
 - onboard logging and recording available – providing QC for every bolt installed;
- simplified process:
 - no cleaning (as for a cement system) saves 1–1.5 hours per shift;
 - on/off solution, can stand for weeks without draining the hoses/pumps;
 - full encapsulation (load transfer, corrosion protection) and full mixing;
 - no finger gloving effect;
 - no cartridges missing the borehole during pneumatic injection or getting stuck in the borehole due to obstacles or misalignment;
 - no cartridges lost in cracks during bolt insertion;
- proven bolt and resin system:
 - extensively laboratory and field tested.

*Dipl.-Ing. MICHAEL HOSP,
michael.hosp@minovaglobal.com,
Minova International Limited*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] BRAY, P., JOHNSON, A. The search to find a better solution for mechanised bolting in difficult rock conditions. *Bergdagarna 2019*, Swedish Rock Engineering Association, Stockholm
- [2] BRAY, P., JOHNSON, A., SCHUNNESSON, H. Rock reinforcement solutions case study: Malmberget iron ore mine, Sweden. *W Joughin (ed.), Proceedings of the Ninth International Conference on Deep and High Stress Mining*. 2019. The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, pp. 191–204

NOVÝ ŽELEZNIČNÍ TUNEL MEZNO BUDOVANÝ V RÁMCI MODERNIZACE TRATI V ÚSEKU SUDOMĚŘICE – VOTICE NA 4. KORIDORU

MEZNO – A NEW RAILWAY TUNNEL UNDER CONSTRUCTION WITHIN THE FRAMEWORK OF MODERNISATION OF SUDOMĚŘICE – VOTICE TRACK SECTION ON CORRIDOR NO. 4

TOMÁŠ JUST, PETER ČULÍK

ABSTRAKT

Cílem modernizace úseku mezi Sudoměřicemi u Tábora a Voticemi je zdvoukolejnění a napřímení celého úseku trati s výsledným zvýšením rychlosti a zkrácením doby jízdy. Velká část nové trasy je vedena po umělých stavbách a všechna nová křížení budou mimoúrovňová, což zcela zabrání možnému střetu se silničními vozidly. Tunel Mezno délky 840 m je delším z obou nově budovaných dvoukolejných tunelů na modernizovaném úseku 4. železničního koridoru mezi Sudoměřicemi a Voticemi. O tunelu Deboreč délky 660 m, který je již proražen, informoval článek v čísle 4/2019. Předkládaný příspěvek přináší popis návrhu projekčního řešení a poznatky z dosavadního průběhu prací realizovaných k polovině května 2020. K tomuto datu je vyhloubena a zajištěna stavební jáma výjezdového (pražského) portálu a z ní vyraženy asi dvě třetiny délky tunelu. Dokončují se stavební práce na vjezdovém portálu tunelu, kde se očekává proražka počátkem srpna 2020.

ABSTRACT

The objective of the modernisation of the section between Sudoměřice and Votice is to provide a double-rail track and straighten the whole track section, resulting into increased speed and reduced travelling time. A significant part of the new route is led on artificial structures and all new intersections will be of the grade-separated type, which will completely prevent potential collisions with road vehicles. The 840m long Mezno tunnel is the longer one of the two double-rail tunnels being newly constructed on the railway corridor No. 4 being modernised between Sudoměřice and Votice. The information about the 600m long Deboreč tunnel, which has already been broken through, was published in TUNEL issue No. 4/2019. The paper being presented brings the description of a draft of the design solution and the knowledge gathered during the course of work completed so far as of the middle of May 2020. As of this date, the excavation of the construction pit for the exit (Prague) portal has been completed and excavation of about two thirds of the tunnel length has been finished. Construction work on the entrance portal of the tunnel is being completed. The breakthrough is expected at the beginning of August 2020.

ÚVOD

Nový dvoukolejný železniční tunel Mezno celkové délky 840 m se nachází na jižním okraji Středočeského kraje mezi obcemi Mezno a Střezimíř. Délka ražené části je 768 m a navazující hloubené části jsou délky 48 m u vjezdového (jižního) a 24 m u výjezdového (severního) portálu.

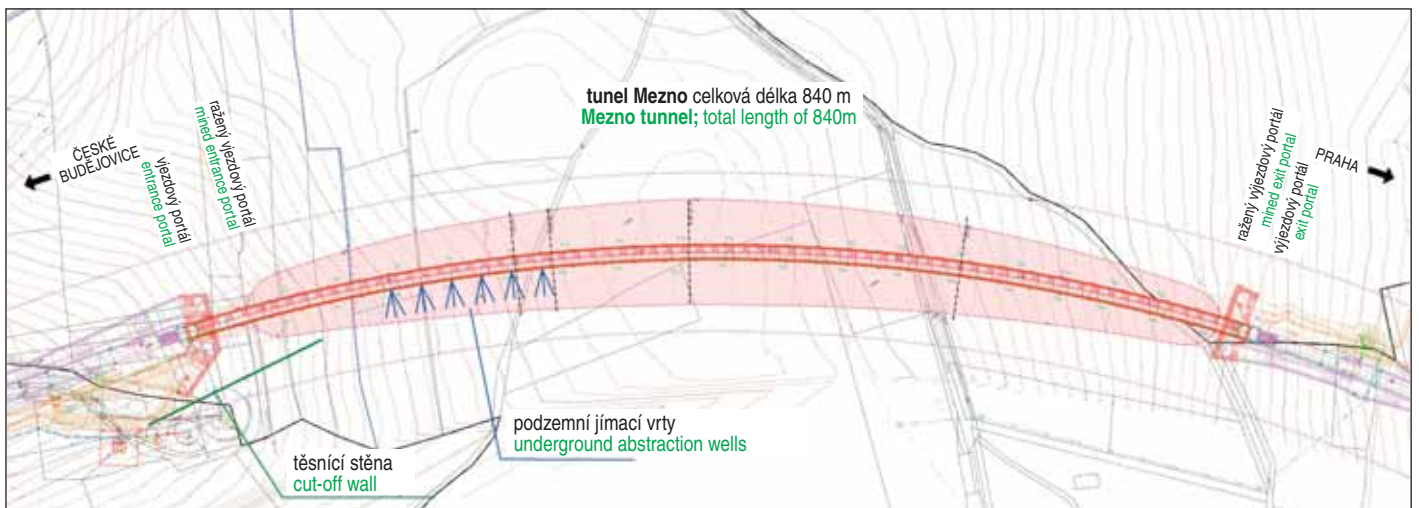
Dražní staničení trasy vzrůstá od Českých Budějovic směrem k Praze. Směrově je trasa prvních 30 m v přechodnici a dále v pravostranném oblouku o poloměru osy tunelu 1401,8 m. Situace stavby je znázorněna na obr. 1. Výškově je trasa vedena ve vrcholovém oblouku o poloměru 28 000 m s vrcholem ve vzdálenosti od vjezdového portálu 191 m, kde je lom nivelety. Tento bod je současně nejvyšším bodem trati 4. koridoru mezi Českými Budějovicemi a Prahou. Od portálu k tomuto bodu tunel stoupá 4,5 ‰, od vrcholu oblouku následně klesá sklonem 8,0 ‰. Podélný řez tunelem je znázorněn na obr. 2. Maximální výška nadloží raženého tunelu je 26,3 m v cca polovině jeho délky. Ražba tunelu je vedena převážně dovrchně od výjezdového portálu (625 m proti směru staničení) a je stavebně evidována v tunelových metrech (TM). Příčný řez tunelu je shodný se všemi dosud realizovanými tunely na 4. tranzitním koridoru a vychází ze vzorového listu z roku 2012 – Světly tunelový průřez dvoukolejného tunelu.

Investorem stavby je Správa železnic, státní organizace, generálním dodavatelem stavby celého modernizovaného úseku včetně tunelu Mezno je společnost OHL ŽS, a.s. Autory realizační

INTRODUCTION

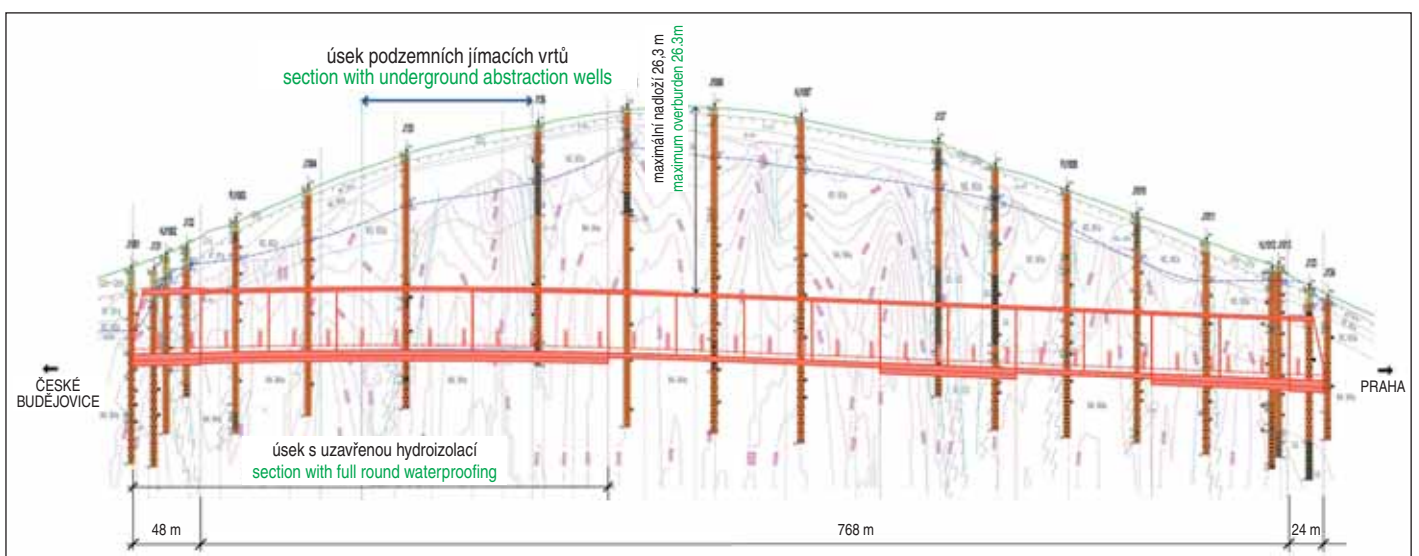
The new Mezno double-rail tunnel with the total length of 840m is located on the southern edge of the Central Bohemian region between the villages of Mezno and Střezimíř. The length of the mined part amounts to 768m and the linking cut-and-cover parts are 48m long at the entrance (southern) portal and 24m long at the exit (northern) portal.

The rail track chainage increases from České Budějovice towards Prague. The horizontal alignment in the initial 30 metres is on a transition curve and continues further on a 1401.8m-radius right-hand curve. The construction ground plan is presented in Fig. 1. The vertical alignment is led on a 28,000m-radius crest curve with the top at the distance of 191m from the entrance portal, where the alignment breaks. This point is at the same time the highest point of the route of the Corridor No. 4 between České Budějovice and Prague. The tunnel alignment ascends from the portal to that point at 4.5‰, subsequently it descends at the gradient of 8‰. The longitudinal section through the tunnel is presented in Fig. 2. The maximum height of the overburden of the mined tunnel amounts to 26.3m. The tunnel is being driven mostly inclined upwards from the exit portal (625m against the direction of chainage) and the construction is being recorded in tunnel metres (TM). The tunnel cross-section is identical with all tunnels carried out so far on transit corridor No. 4. It is based on the standard sheet from 2012 *Net tunnel section of double-rail tunnel*.



zdroj SUDOP Praha source SUDOP Praha

Obr. 1 Situace stavby, zadávací dokumentace
Fig. 1 Construction ground plan, tender design



zdroj SUDOP Praha source SUDOP Praha

Obr. 2 Podélný řez tunelem, zadávací dokumentace
Fig. 2 Longitudinal section through the tunnel, tender design

projektové dokumentace (RDS) jsou společnosti SUDOP EU a.s. a AMBERG Engineering Brno, a.s. Stavba je realizována podle smluvních podmínek FIDIC – Červená kniha a je financována prostřednictvím Státního fondu dopravní infrastruktury s příspěvkem EU z Fondu soudržnosti v rámci operačního fondu Doprava.

POPIS TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ

Stavební jáma výjezdového portálu

Stavební jáma výjezdového portálu slouží k přístupu k raženému portálu tunelu, následně k výstavbě hloubeného tunelu a definitivního severního portálu tunelu. Délka hloubené jámy je 24,5 m, výška portálové stěny 16,0 m a nadloží nad raženým portálem tunelu činí 5,5 m.

Stavební jáma je navržena jako svahovaná. Na bocích stavební jámy má její nejnižší část sklon 5:1, postupně se sklon mění na 2:1 a horní část je svahována se sklonem 1:1,5 až do průniku svahu se stávajícím terénem. Portálový svah je naprojektován se dvěma úrovněmi sklonu svahů. Horní úroveň je stejně jako na bocích stavební jámy ve sklonu 1:1,5, spodní úroveň přesahující profil tunelu je v celé výšce v jednotném sklonu 5:1. Stěny stavební jámy jsou zabezpečeny dvěma typy dočasného zajištění. Horní úroveň v oblasti kvartérního pokryvu je pouze zakryta ochranou protierozní

Správa železnic, state organisation (Rail Administration), is the project owner, OHL ŽS, a.s. is the general contractor for the project for the whole section being modernised, including the Mezno tunnel. SUDOP EU a.s. and AMBERG Engineering Brno, a.s. are authors of the detailed design. The construction is carried out in compliance with the FIDIC – Red Book contractual conditions and is funded through the State Fund for Transport Infrastructure with the EU contribution from the Cohesion Fund within the framework of the Doprava (Transportation) Fund.

DESCRIPTION OF TECHNICAL SOLUTION

Construction pit for exit portal

The construction pit for the exit portal is used for access to the mined portal of the tunnel and, subsequently, for the construction of the cut-and-cover tunnel and the definite northern portal of the tunnel. The dug pit is 24.5m long, the portal wall is 16.0m high and the overburden above the mined portal of the tunnel is 5.5m thick.

The construction pit is designed as an excavation with slopes. On the sides of the construction pit, the slope in the lowest part is designed at 5:1; the slope gradually changes to 2:1 and the upper part is sloped at 1:1.5 up to the intersection with the existing terrain. Two levels of gradients are designed for the portal slope. The upper level is

3D plastovou sítí. Nižší úrovně jsou opatřeny vrstvou stříkaného betonu C16/20 tloušťky 100 mm s výztužnou sítí 150×150/6 mm a kotvením SN svorníky Ø 25 mm a délky 4 m. V portálové stěně je naprojektován mikropilotový deštník délky 15,0 m z 47 ks trub 108/16 mm nad profilem kaloty budoucího tunelu.

Stavební jáma vjezdového portálu

Stavební jáma vjezdového portálu slouží k přístupu k raženému portálu a následně k výstavbě hloubeného tunelu a definitivního jižního portálu tunelu. Délka hloubené jámy je 48,5 m, výška portálové stěny 18,0 m a nadloží nad portálem raženého tunelu 7,2 m.

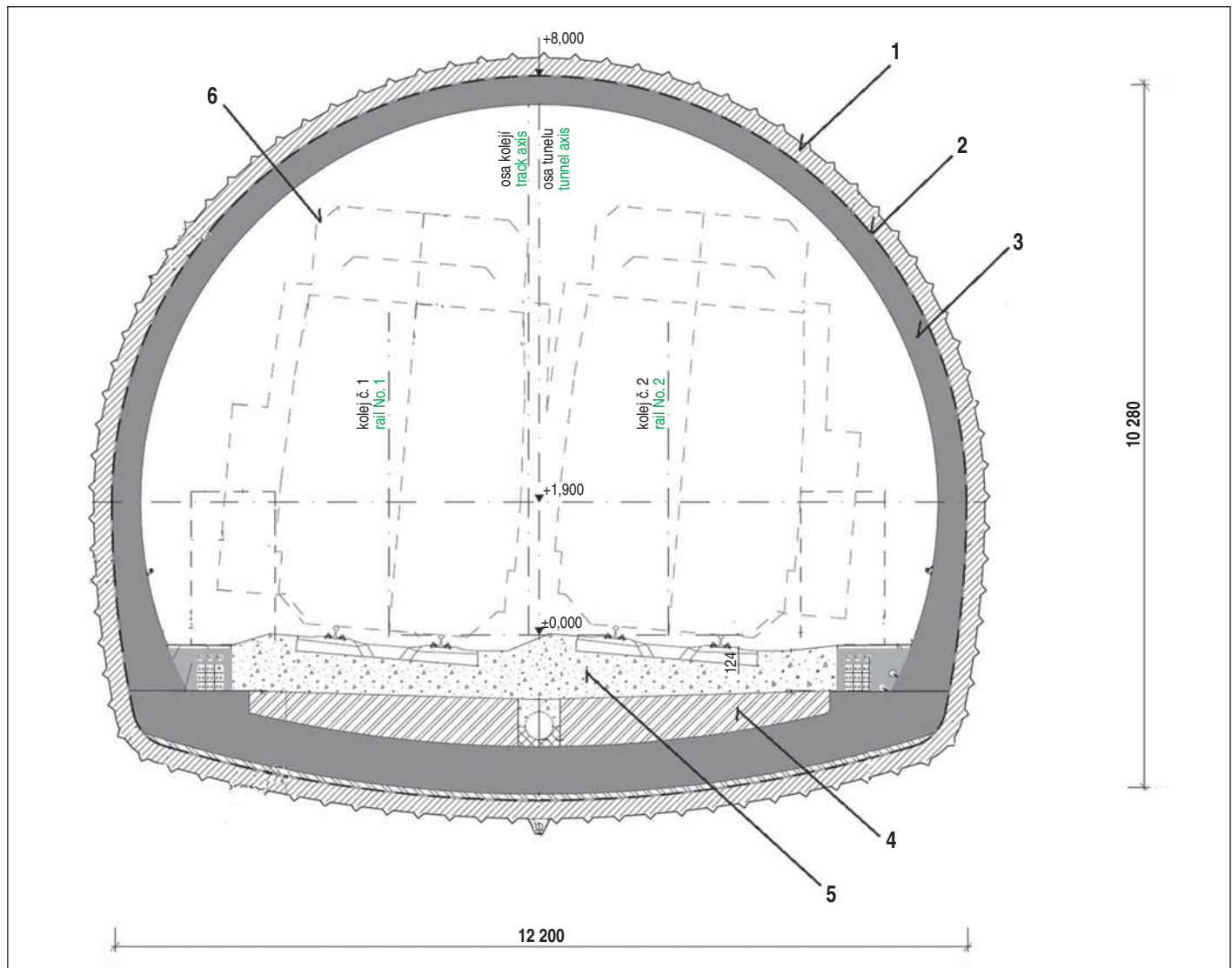
Stavební jáma je navržena obdobně jako na výjezdovém portálu. Boční stěny jámy mají tři úrovně sklonů. Druhá a třetí úroveň ode dna stavební jámy jsou odděleny odlehčovací lavicí. Nejnižší část jámy má stanovený sklon 5:1, prostřední část 4:1 a nad touto úrovní je jáma svahována se sklonem 1:1,5 až do průniku svahu se stávajícím terénem. Portálový svah je navržen se dvěma úrovněmi sklonu svahů. Horní úroveň je ve sklonu 1:1,5, spodní úroveň je v celé výšce v jednotném sklonu 5:1. Stěny stavební jámy jsou zajištěny shodně jako na výjezdovém portálu včetně mikropilotového deštníku.

designed identically with the construction pit sides, with the gradient of 1:1.5; uniform gradient of 5:1 is designed for the whole height of the lower level extending the tunnel profile. The construction pit sides are provided with two types of temporary stabilisation. The upper level in the area of the Quaternary nape is only covered with protective erosion control 3D plastic net. The lower levels are provided with a 100mm thick layer of C16/20 sprayed concrete with 150×150/6mm welded mesh, anchoring with 4m long, 25mm diameter SN bolts. Canopy tube pre-support formed by 47 pieces of 15.0m long, 108/16mm tubes is designed in the portal wall over the profile of the top heading of the future tunnel.

Construction pit for entrance portal

The construction pit for the entrance portal is used for access to the mined portal and, subsequently, for the construction of the cut-and-cover tunnel and the definite southern portal of the tunnel. The dug pit is 48.5m long, the portal wall is 18.0m high and the overburden above the mined portal of the tunnel is 7.2m thick.

The construction pit is designed similarly to the pit for the exit portal. The sides have three levels of slopes. The second level and third level from the construction pit bottom are separated by a relief berm. Slope of 5:1 is designed for the lowest part of the construction



zdroj Amberg Engineering source Amberg Engineering

Obr. 3 Vzorový příčný řez tunelu s protiklenbou a uzavřenou hydroizolací, RDS: 1 – primární ostění SB C20/25; 2 – hydroizolační souvrství; 3 – sekundární ostění železobeton C30/37-XF1, XA1; 4 – výplňový beton C12/15-X0; 5 – šterkové lože; 6 – vztázná linie kinematických obrysů pro vozidla GC

Fig. 3 Typical cross section through the tunnel with invert and full round waterproofing, final design: 1 – primary lining SC C20/25; 2 – waterproofing layers; 3 – secondary lining reinforced concrete C30/37-XF1, XA1; 4 – mass fill concrete C12/15-X0; 5 – gravel ballast; 6 – reference line of kinematic contours for GC vehicles

Ražený tunel

Ražba tunelu je prováděna technologií NRTM. Příčný průřez výrubu tunelu je navržen od 101,7 m² pro ostění tunelu s patkami až po 119,5 m² pro ostění se spodní klenbou. Jednotlivé typy zajištění výrubu jsou stanoveny podle statických výpočtů pro předpokládané geologické a geotechnické podmínky vycházející z provedeného inženýrskogeologického průzkumu. Profil tunelu je horizontálně členěn na kalotu, opěří, dno nebo dno s protiklenbou. Primární ostění je tvořeno stříkaným betonem C 20/25 s ocelovou sítí, příhradovými nosníky, kotvami a v případě potřeby lze aplikovat jehlování. V podélném směru je vzdálenost čelb členěného výrubu závislá na zastížených geotechnických podmínkách a je určena technologickou třídou výrubu (TTV). Pro předpokládané poměry v horninovém masivu na základě výsledků geotechnického průzkumu byly stanoveny čtyři základní TTV s alternativou ostění na patkách a s protiklenbou. Základní prvky vyztužení pro jednotlivé TTV a prognóza jejich zastoupení v dosud vyražené délce tunelu jsou uvedeny v tab. 1. Ražba tunelu se předpokládá do cca ¾ délky tunelu dovrchné od výjezdového portálu a následně cca ¼ úpadně k vjezdovému portálu.

Konstrukce ostění tunelu je dvouplášťová s mezilehlou deštníkovou hydroizolací z PVC fólie. V úseku tunelu délky 288 m při vjezdovém portálu je navrženo ostění s protiklenbou a uzavřenou hydroizolací z důvodu ochrany blízkých vodních zdrojů. Sekundární ostění je vyprojektováno o tloušťce 400 mm u ražených a 600 mm u hloubených tunelů. Vzorový příčný řez tunelem s protiklenbou je na obr. 3. Sekundární ostění je monolitické do bedně s délkou bloku betonáže 12 m. Tomu je přizpůsobena skladba bloků betonáže a rozmístění záchranných výklenků tak, aby byly umístěny ve středu každého druhého bloku. Výklenky šířky 2000 mm, výšky 2200 mm a hloubky 750 mm jsou umístěny vstřícně po obou stranách tunelu. U ostění s patkami je odvedení drenážní vody a odvodnění tunelu navrženo s pomocí bočních drenáží profilu DN 200 a středové drenáže DN 400. V chodnicích tunelu jsou umístěny kabelovody a po pravé straně ve směru staničení také požární suchovod s přípojným místem v šachtě před vjezdovým portálem tunelu, kde je situována i požární nádrž. V blízkosti obou portálů bude vybudována přístupová komunikace s nástupní plochou pro záchranné složky. Tunel bude dále vybaven madly podél chodníků, nouzovým osvětlením a bezpečnostními kamerami na obou portálech.

Podzemní jímací vrty z prostoru vně tunelu

Neobvyklým řešením v rámci stavebního objektu „Sanace škod způsobených ražbou tunelu“ je návrh soustavy podzemních jímacích vrtů umístěných vpravo vně tunelu v úseku s uzavřenou hydroizolací. Situování těchto vrtů je vyznačeno na obr. 1. Jedná se o šest vějířů po třech vrtech délky 20 m, které by měly být doplňkovým zdrojem pitné vody k současným zdrojům. Ústí vrtu je vyvedeno v místech bezpečnostních výklenků a napojeno na potrubí umístěné v chodníku. Před portálem je navržena čerpací jímka, která má vodu doplňovat do nově vybudovaných vodojemů. Zhotovitel upozornil na některé problémy tohoto řešení (provazování „cizího“ zařízení v drážním tunelu, nejistá vydatnost přítoku vody – poloha vrtu vychází z nivelety tunelu a nelze ji upravit, riziko růstu mikroorganismů v plně nezavodněném potrubí mezi jímacími vrty a čerpací jímkou u portálu, problematický detail hydroizolace v místě prostupu potrubí ostěním) a navrhl řešení vrtaných studní situovaných mimo tunel. V současnosti se o konečném řešení jedná.

pit up to the intersection with the existing terrain; the slope for the central part is designed at 4:1 and the upper part is sloped at 1:1.5 up to the intersection with the existing terrain. Two levels of slopes are designed for the portal slope. The upper level slope is designed at 1:1.5, the lower level slope is designed uniformly at 5:1 throughout the height. The sides of the construction pit are stabilised identically with the sides at the exit portal, including the canopy tube pre-support.

Mined tunnel

The tunnel is being driven using the NATM technique. The tunnel excavation cross section is designed ranging from 101.7m² for tunnel lining with footings up to 119.5m² for tunnel lining with invert. Individual types of the tunnel support are determined according to structural analyses for geological and geotechnical conditions anticipated on the basis of the engineering geological survey. The so-called “horizontal” excavation sequence consisting of top heading, bench and bottom or invert is designed for the tunnel cross-section. The primary lining is formed by C20/25 shotcrete with welded mesh, lattice girders, and, if required, spiling can be used. Longitudinally, the distance between the headings of the sequential excavation depends on geotechnical conditions encountered and is determined as the excavation support class (ESC). Four basic ESCs with an alternative of the lining on footings and lining with invert were determined for the assumed conditions in the ground mass based on the results of geotechnical investigation. The basic elements of the support for individual ESCs and prognosis of the percentage of their occurrence in the tunnel excavation length completed so far are presented in Table 1. Uphill excavation of the tunnel is assumed to continue up to ca ¾ of the tunnel length, subsequently downhill excavation of ca ¼ of the tunnel length will proceed up to the entrance portal.

The tunnel lining is of the double shell type with an intermediate umbrella waterproofing system with a PVC membrane. The lining with invert and a full round waterproofing system is designed for the 288m long tunnel section at the entrance portal for the reason of protection of nearby water sources. A 400mm and 600mm thick secondary lining is designed for mined tunnels and cut-and-cover tunnels, respectively. The typical cross-section for the tunnel with invert is presented in Fig. 3. The secondary concrete lining is cast in situ behind formwork with the concrete casting block 12m long. The composition of concrete casting blocks is adjusted to it. Positions of rescue recesses are designed with the intention that they are located in the middle of every other block. The 2000mm wide, 2200mm high and 750mm deep recesses are located in a staggered system on either side of the tunnel. Evacuation of drainage water and the tunnel drainage for the lining with footings is designed to be provided by DN 200mm side drains and DN 400mm central drainage. Cableways are located in the tunnel walkways. On the right-hand side in the direction of chainage there is in addition the dry fire main with the connection point in a manhole in front of the entrance portal, where the fire protection reservoir is situated. Access roads with mustering areas for rescue units will be carried out in the vicinity of both portals. The tunnel will be in addition equipped with handrails along walkways, emergency lighting and safety cameras at both portals.

Underground abstraction wells bored from the space outside the tunnel

An unusual solution within the framework of the construction object “Remediation of damage caused by the tunnel excavation” is represented by the draft of a system of underground abstraction wells located on the right-hand side outside the tunnel in the tunnel

POZNATKY Z PRŮBĚHU REALIZACE, ZASTIŽENÉ INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ POMĚRY

Přípravné práce

Přípravné práce související s realizací tunelu Mezno byly zahájeny bezprostředně po předání staveniště v dubnu 2018. V rámci přípravy staveniště bylo nutné nejprve zajistit pronájem dočasných záborů pozemků nutných pro vybudování staveništních komunikací a ploch pro zařízení staveniště, dále zřízení staveništní přípojky VN s trafostanicí, vyřízení povolení trhacích prací a povolení stavby zařízení staveniště včetně povolení vypouštění důlních vod. V rámci procesu povolování trhacích prací uplatnila obec Mezno svůj požadavek na vybudování stavebních objektů a provozních souborů souvisejících s ochranou zdrojů pitné vody před zahájením trhacích prací. Tato podmínka byla zapracována do vydaného rozhodnutí o povolení trhacích prací. Rovněž byly zahájeny práce na tvorbě a projednání RDS, která je součástí díla.

Výkop a zajištění stavebních jam portálů tunelu

Dne 20. 8. 2018 byly zahájeny zemní práce na hloubení stavební jámy výjezdového portálu. Po měsíci prací, kdy byly odtěženy strojně rozpojitelné vrstvy, musely být práce přerušeny. Dosažená hloubka výkopu v oblasti portálové stěny byla cca 5 m. Obvod stavební jámy byl z vnější strany ochráněn zemním valem a drátěným oplocením a svahované stěny stavební jámy zajištěny plastovou protierozní sítí. Na dně stavební jámy byla vybudována čerpací jímka a přítékající voda (dešťová i podzemní) byla průběžně odčerpávána. Další efektivní postup odtěžování byl možný jen s využitím trhacích prací a s jejich zahájením bylo nutné vyčkat na souhlas obce Mezno. Ten byl vydán 7. 7. 2019, práce byly tedy přerušeny na dobu 10 měsíců. K 20. 8. 2019 byla stavební jáma vyhloubena a zajištěna na úroveň dna kaloty tunelu. Z této úrovně byl proveden mikropilotový deštník a po jeho dokončení vybudován předštitěk (falešně primární ostění) délky 2,18 m, který tvoří přechod mezi hloubeným a raženým tunelem.

Na výjezdovém portálu byly pod kvartérmními sedimenty mocnými cca 2 m zastíženy podložní horniny zastoupené pararulami, které byly při povrchu zvětralé. S hloubkou míra zvětrání hornin slábla a od úrovně odlehčovací lavice bylo třeba pro rozpojování horniny použít trhací práce. Hornina byla rozpučená s velkou až střední hustotou diskontinuit, na puklinách byly patrné povlaky oxidů Fe.

Realizace stavební jámy výjezdového portálu byla naplánována tak, aby byla v předstihu připravena na prorážení tunelu. Vzhledem k nedostatku času bylo možné přizpůsobit postup prací podle dostupnosti kapacit i klimatických podmínek a koordinovat výstavbu sousedních stavebních objektů. Výkopové práce byly zahájeny 15. 8. 2019 a aktuálně jsou práce dokončeny pro prorážku tunelu v kalotě. Před vrtáním mikropilotového deštníku bylo na základě skutečně zastížných geotechnických podmínek rozhodnuto o jeho prodloužení na 18,0 m. Na výjezdovém portálu byly pod kvartérmními sedimenty zastíženy zcela rozložené pararuly (eluvium původní horniny) charakteru zeminy, které pokračovaly do hloubky až na úroveň dna kaloty, kde již byla zastížena hornina skalního charakteru.

Těsnicí stěna

V rámci stavebního objektu „Sanace škod způsobených ražbou tunelu“ byla navržena podzemní těsnicí stěna umístěná v prostoru mezi stavební jamou výjezdového portálu a stávajícím vodním zdrojem vzdáleným cca 40 m od hrany stavební jámy. Svislá těsnicí stěna má délku 150 m a hloubku 12 m. Poloha těsnicí stěny, která má sloužit jako ochrana stávajících vodních zdrojů, je vyznačena na obr. 1. Jednotlivé vrty těsnicí stěny byly umístěny v přímce s osovou roztečí 0,5 m a byly vrtány i následně injektovány

section provided with the full round waterproofing system. Positions of the boreholes are marked in Fig. 1. The system consists of six fans with three 20m long boreholes in each of them, which should become a supplementary source of drinking water to the existing sources. The borehole mouths are located in the safety recesses and are connected to a pipeline installed in the walkway. A sump designed for refilling the newly constructed water tanks will be in front of the portal. The contractor pointed out some problems of this solution (operation of equipment owned by another party in the tunnel operated by railways, uncertain yield of water – the position of the borehole is based on the tunnel alignment and cannot be changed, risk of growth of microorganisms in not fully filled pipeline between the abstraction wells and the sump at the portal, a problematic detail of waterproofing at the passage of the pipeline through the lining) and proposed the solution in the form of bored wells situated outside the tunnel. The final solution is currently under discussion.

KNOWLEDGE GATHERED DURING THE CONSTRUCTION WORK; ENGINEERING GEOLOGICAL CONDITIONS ENCOUNTERED

Enabling works

The enabling works relating to the construction of the Mezno tunnel commenced immediately after the construction side handover in April 2018. It was necessary within the framework of the preparation of the construction site first to secure temporary renting of land necessary for developing of construction site roads and areas for the site arrangement, establishing the site connection of high tension with a transformer station, obtaining the blasting permit and the site construction permit including permission for disposing mine water. Within the process of approving blasting operations, the municipality of Mezno made its claim for carrying out building structures and operating units connected with the protection of sources of drinking water prior to the commencement of construction works. This condition was incorporated into the permission issued for blasting operations. The work on the creation and negotiation of the final design, which is part of the works, also commenced.

Excavation and stabilisation of construction pits for tunnel portals

The earthmoving works on the excavation of the construction pit for the exit portal commenced on 20th September 2018. After a month of work during which the mechanically cuttable ground was removed, the operations had to be suspended. The excavation depth which was reached in the area of the portal wall amounted to ca 5m. The circumference of the construction pit was protected from the outside by an earthen embankment and a chain link fence; the sloped sides of the construction pit were stabilised with plastic erosion control matting. A sump was carried out at the bottom of the pit and water flowing into it (rainwater and groundwater) was continuously abstracted. Subsequent effective progress of excavation was possible only with the application of blasting operations and it was necessary to wait with its commencement for the approval of the municipality of Mezno. The approval was issued on 7th July 2019, which means that the work was suspended for 10 months. As of 20th August, the construction pit had been excavated and stabilised up to the level of the tunnel top heading bottom. From this level, the canopy tube pre-support was carried out and, after its completion, a 2.18m long pre-tunnel canopy forming the transition between the cut-and-cover and mined tunnels was constructed.



foto Tomáš Just photo Tomáš Just

Obr. 4 Realizace 1. etapy vrtů těsnicí stěny

Fig. 4 Implementation of stage No.1 of boreholes for the cut-off wall

postupně s roztečí 2 m. Vrtly byly prováděny rotačně-příklepovým způsobem se vzduchovým výplachem. Průměr vrtu s výpažnicí byl v kvarténních pokryvech 133 mm, následně v soudržných horninách 110 mm. Do každého vrtu byla osazena PVC trubka průměru 32/3,5 mm a meziprostor byl vyplněn bentonitocementovou záplivkou. Tato záplivka rovněž vyplnila případné větší dutiny a pukliny. PVC trubka byla v každém metru opatřena perforací s gumovými manžetami, jejichž prostřednictvím byla prováděna vzestupná tlaková injektáž hydrofilní injektážní směsí MasterRoc MP 325. Spotřeba směsi v každé etáži byla zaznamenávána a byly stanoveny limity pro ukončení injektáže při dosažení spotřeby 25 l na etáž nebo dosažení tlaku 2,5 MPa.

Práce musely být realizovány před zahájením vlastní výstavby tunelu Mezno a byly provedeny v období od 15. 4. do 23. 7. 2019. Při provádění vrtných prací v blízkosti vodního zdroje byla zjištěna mírná kontaminace (zakalení) vody ve studni obce Mezno. Práce byly na 14 dnů přerušeny a po dobu trvání kontaminace byla obec zásobována dováženou pitnou vodou. Provádění těsnicí stěny dokumentuje obr. 4.

Dosud provedené ražby

Před vlastní ražbou tunelu, částečně během přerušování prací při hloubení výjezdového portálu, bylo vybudováno zařízení stavěniště a infrastruktura pro ražbu tunelu včetně plochy pro meziskládku rubaniny a drtičí linku. Veškerá vhodná hornina bude totiž zabudována v rámci stavby koridoru do násypů železniční trati.

Práce na ražbě tunelu byly slavnostně zahájeny 11. 9. 2019 vysvěcením sošky svaté Barbory. Razí se konvenční metodou a aktuálně je vyraženo a primárním ostěním zajištěno 554 m tunelu kaloty a následně s odstupem 320 m opěří tunelu. Nejvíce zastoupenou vystrojovací třídou je TTV4. Schéma vystrojení TTV4 je na obr. 5 a typická čelba kaloty na obr. 6. V období od 16. 3. do 15. 4. 2020

At the exit portal, underlying rock presented by paragneiss, weathered on the surface, was encountered under a ca 2m thick layer of Quaternary sediments. The degree of weathering diminished with depth and it was necessary from the relief berm level to use blasting for disintegration of rock. The rock was fractured with close up to moderate spacing of joints; Fe oxide coating was visible on the fissure walls.

The work on the construction pit for the entrance portal was planned with the objective to prepare the pit in advance for the tunnel breakthrough. With respect to the sufficient time, it was possible to adapt the progress rate of excavation to the availability of capacities and climatic conditions and to coordinate the work on neighbouring structures. The excavation operations commenced on 15th August 2019 and at the moment the work has been finished for the top heading breakthrough. A decision was made before drilling for the canopy tube pre-support on the basis of the actually encountered geotechnical conditions that the length of the pre-support length would be increased to 18.0m. Completely decayed paragneiss (eluvium of the original rock) with the character of soil was encountered under the Quaternary sediments at the entrance portal. It continued down to the level of the top heading bottom, where sounder rock was already encountered.

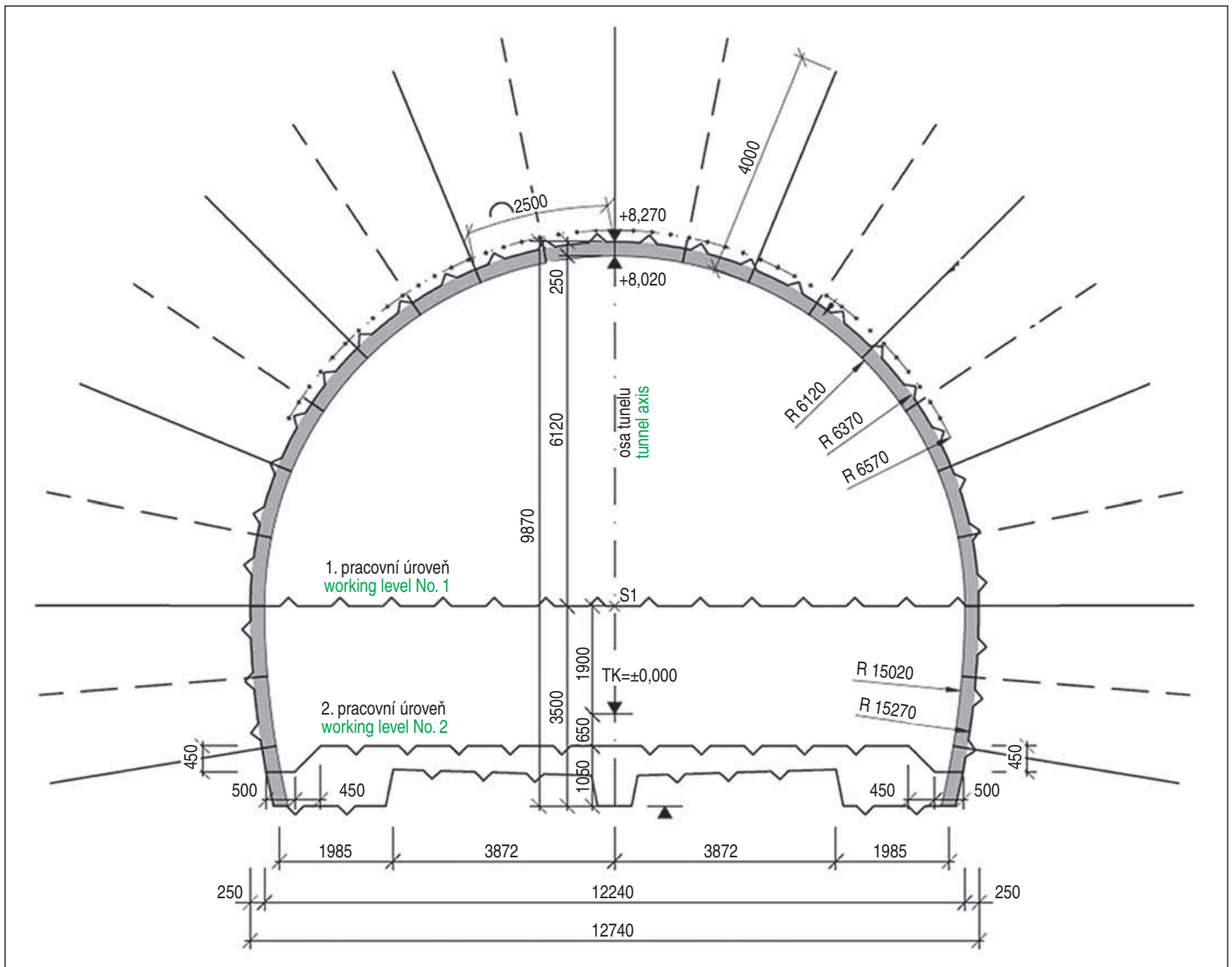
Cut-off wall

A cut-off wall was designed within the framework of the construction lot "Remediation of damage caused by the tunnel excavation" to be carried out in the space between the construction pit for the entrance portal and an existing water source located at the distance of ca 40m from the construction pit edge. The vertical cut-off wall is 150m long and 12m deep. The location of the cut-off wall, which is to provide protection of existing water sources, is marked in Fig. 1. Individual boreholes for the cut-off wall were carried out on a straight line and were bored and subsequently grouted step-by-step with the spacing of 2m. The rotational percussive technique with air flush was applied to drilling. The diameter of 133mm was used for the boreholes with casing; subsequently the diameter of 110mm was used in coherent ground. A 32/3.5mm PVC tube was inserted into each borehole and the intermediate space was filled with bentonite-cementitious grout. The grout in addition filled contingent larger cavities and cracks. The PVC tube was provided in each metre with perforation with rubber sleeves, through which the ascending grouting was carried out using MasterRoc MP 325 hydrophilic grouting mixture. Consumption of the mixture at each stage was recorded and limits for ending the grout injection were set at the moment when the consumption of 25L per stage was reached or when the pressure of 2.5MPa was achieved.

The work had to be carried out prior to the commencement of the Mezno tunnel construction itself. It was carried out during the period from 15th April to 23rd July 2019. Moderate contamination (turbidity) of water was identified in a well in the municipality of Mezno when drilling was carried out in the vicinity of the water source. The operations were suspended for 14 days and the municipality was supplied with tanked drinking water transported to the village for the duration of the contamination. The work on the cut-off wall is documented in Fig. 4.

Tunnel excavation completed so far

The construction site facilities and the infrastructure for the tunnel excavation, including the surface for an intermediate stockpile of muck and a crushing line, were built up prior to the tunnel excavation itself. The reason was that all suitable ground would be incorporated into the construction of embankments for the rail track.



Obr. 5 Schéma vyzbrojení TTV4, RDS

Fig. 5 Chart of support elements for ESC4, final design



foto Tomáš Just photo Tomáš Just

Obr. 6 Pohled na čelbu ve staničení 464 TM

Fig. 6 A view of excavation face at TM chainage 464

The work on the tunnel excavation started on 11th September by ceremonial consecration of a Saint Barbara statuette. A conventional method is used for the excavation. Currently the excavation and primary lining support of 554m of top heading and subsequently 320m of bench has been finished. The ESC4 is the most frequently represented class. The ESC4 chart is presented in Fig. 5 and the typical excavation face of the top heading is in Fig. 6. The top heading excavation was suspended from 16th March to 15th April due to governmental measures adopted in the context of the pandemic spreading of the Covid-19 disease. Those measures did not allow for the entry of employees with permanent residence in Slovakia to the Czech Republic. It was necessary to provide replacement crews for ensuring uninterrupted maintenance operation of the underground working, including the required hygienic and protective equipment.

Fractured paragneiss with medium to close

byly přerušeny práce na ražbě kaloty z důvodu přijatých vládních opatření v souvislosti s šířením pandemie onemocnění Covid-19. Tato opatření neumožnila vstup zaměstnanců s trvalým bydlištěm na Slovensku na území České republiky. Bylo nutné zajistit náhradní pracovní osádky na zajištění nepřetržitého udržovacího provozu podzemního díla včetně zabezpečení potřebného hygienického vybavení i ochranných pomůcek.

V průběhu ražení tunelu byly zastiženy rozpuštěné pararuly se střední až velkou hustotou diskontinuit proměnlivé míry zvětrání a pevnosti převážně R3 až R4, místy i R5 a R6. Na puklinách jsou lokálně patrné povlaky oxidů Fe. Foliace horniny směřuje úpadně do výrubu, což při zhoršených inženýrskogeologických poměrech (rozevřené pukliny, jílová výplň, voda) činí problémy s nestabilitou přístropí i celé čelby. Hluběji v tunelu v úseku TM 250–280 byly zastiženy navětralé až zdravé stavřity s velkou až velmi velkou hustotou diskontinuit s blokovitou odlučností, která způsobovala zvýšené nadvylomy. Zde byla zastižena významnější poruchová zóna, při jejímž průchodu byly z čelby kaloty provedeny průzkumné bezjádřové předvrtky délky 12 m se vzájemným překrytím 4 m. Ve střední části tunelu docházelo k cyklicky se měnícím geotechnickým podmínkám – opakovanému zhoršování a zlepšování inženýrskogeologických poměrů a častému střídání TTV4 a TTV3. Na většině čelby se objevují slabé přítoky podzemní vody v podobě místního kapání.

V dosud vyražené části byly podle projektové dokumentace předpokládány dva úseky se spodní klenbou celkové délky 192 m. Zhotovitel s projektantem RDS navrhli změnit navržený ražený průřez na průřez opatřený pouze patkami vzhledem na příznivější geotechnické poměry při výrubu dna tunelu. Tento předpoklad se naplnil a dosud vyražená část tunelu je v celé délce bez spodní klenby.

Nadvýlom v TM 266

I přes prováděný monitoring a realizaci bezpečnostních předvrtků došlo dne 6. 12. 2019 v ranních hodinách cca v TM 266 m k většímu nadvýlomu. Vlivem náhlé změny geotechnických vlastností horniny vypadlo v poruchové zóně nad stropem kaloty ohraničené hladkými odlučnými plochami cca 70 m³ horniny. Dosah nadvýlomu byl v pravé části kaloty 4–5 m nad teoretickým obrysem výrubu. Na pravé straně se sesunula rovněž část čelby do vzdálenosti až 4 m.

spacing of joints, variable degree of weathering and mostly R3 to R4 strength, locally even R5 and R6 was encountered during the course of the excavation. Coats of FE oxides are locally visible on the fissure walls. The direction of the rock foliation is downward, out of the excavation face, which makes problems with the instability of the top heading and the whole excavation face in cases of worsened EG conditions (open fissures, clay filling, groundwater). Deeper in the tunnel in the TM 250–280 chainage section, slightly weathered to fresh stavřite with close to very close spacing of joints and blocky jointing was encountered, causing increased overbreaking. A more significant fault was encountered in that location. During the course of the passage through this section, 12m long coreless exploratory boreholes overlapping by 4m were carried out. In the middle part of the tunnel, the geotechnical conditions cyclically changed – the EG conditions repeatedly worsened and improved and ESC4 frequently altered with ESC3. Weak groundwater inflows in the form of local dripping appear at the majority of headings.

Two sections with inverts at the total length of 192m were assumed by the design documents for the section where the excavation has already been finished. The contractor and the author of the final design proposed that the designed cross-section of the mined tunnel should be changed to a cross-section provided only with footings with respect to the more favourable geotechnical conditions during the tunnel bottom excavation. The assumption was fulfilled and the tunnel part excavated so far is without invert throughout its length.

Overbreak at TM 266

Even despite conducting the monitoring and the safety boreholes ahead of the excavation face, a larger overbreak happened at TM ca 266m in the morning of 6th December 2019. Due to a sudden change in the geotechnical properties of the rock in the fault zone above the top heading roof bounded by smooth joint surfaces, ca 70m³ of rock fell down. The overbreak extended 4–5m above the theoretical contour of excavation in the right-hand part of the top heading. In addition, a part of the excavation face slipped down on the right-hand side up to the distance of up to 4m. The falling rock tore with it the

spiles installed during the previous advance round carried out in ESC4; the finished primary lining remained undamaged. The overburden in the location of the overbreak is about 20m high. The originated overbreak is documented in Fig. 7. The next process of excavation and dissolution of the overbreak was determined at an extraordinarily convened meeting of the Monitoring Board. After partial removal of the fallen rock, safety shotcrete spray was applied to the inner surface of the cavity. Drilling was subsequently carried out for an umbrella formed by 9m long IBO R51L anchors installed at 300mm spacing from the last erected lattice girder, at the 10 up to 3 o'clock position. Subsequently KARI welded mesh with wire netting was installed on the heads of the IBO anchors and two close packed girders were erected under the umbrella. Tubes were installed through the lining for subsequent filling of the cavity with pumped concrete. It was carried out later, after the passage of the excavation face to stable rock conditions.



foto Tomáš Just photo Tomáš Just

Obr. 7 Nadvýlom ve staničení 266 TM
Fig. 7 Overbreak at TM chainage 266

Tab. 1 Předpokládané a skutečné zastoupení TTV
Table 1 Assumed and real percentage of ESCs

TTV ESC	délka záběru excavation round length	SB C20/25 X0 SC C20/25 X0	KARI síť KARI mesh	kotvy anchors	doplňková opatření supplementary measures	předpokládané zastoupení assumed percentage	skutečné zastoupení real percentage
2 2	do 2,5 m up to 2.5m	150 mm 150mm	1x 100x100/6 1x 100x100/6	HUS, 3 m HUS, 3m	– –	54,0 m 54.0m	0,0 m 0.0m
3 3	1,8 – 2,2 m 1.8–2.2m	200 mm 200mm	2x 100x100/6 2x 100x100/6	HUS, 3 m HUS, 3m	jehly SN, 4 m SN spiles, 4m	344,0 m 344.0m	123,5 m 123.5m
4 4	1,3 – 1,7 m 1.3–1.7m	250 mm 250mm	2x 100x100/6 2x 100x100/6	HUS/IBO, 4 m HUS/IBO, 4m	jehly SN/IBO, 4 m SN/IBO spiles, 4m	104,0 m 104.0m	404,2 m 404.2m
5 5	0,8 – 1,2 m 0.8–1.2m	300 mm 300mm	2x 100x100/6 2x 100x100/6	IBO, 6 m IBO, 6m	jehly IBO, 6 m kotvení čelby IBO spiles, 6m face anchoring	52,0 m 52.0m	26,3 m 26.3m

Nestabilní hornina s sebou strhla jehly nad kalotou z předcházejícího postupu prováděného v TTV4, vybudované primární ostění zůstalo neporušené. Výška nadloží v místě nadvýlomu je přibližně 20 m. Vzniklý nadvýlom dokumentuje obr. 7. Na mimořádně svolaném jednání rady monitoringu (RaMo) byl stanoven další postup ražby a zmáhání tohoto nadvýlomu. Po částečném odtěžení závalu byl na stěny dutiny proveden bezpečnostní nástřik stříkaného betonu. Poté byl od posledního osazeného rámu v oblasti obvodu profilu v 10. až 3. hod. navrtán deštník z kotev IBO R51L délky 9,0 m s roztečí 300 mm. Dále byla na IBO kotvy instalována KARI síť s pleťem a pod deštník postaveny dva rámy na sraz. S postupnou ražbou v TTV5 byl v místě dutiny prováděn nástřik falešného primárního ostění. Přes ostění byly vyvedeny trubky pro následné vyplnění dutiny čerpaným betonem, které se provedlo zpětně po přechodu čelby do stabilních horninových podmínek.

Čerpání položek měřeného kontraktu

Na tomto místě chtějí autoři upozornit na nepříjemný paradox smluvního vztahu. Kontrakt je uzavřen podle smluvních podmínek FIDIC – Červená kniha. Pro účely fakturace se tedy měří skutečně provedená množství jednotlivých položek výkazu výměr. Ražba tunelu je realizována s využitím observační metody, z jejichž principů lze očekávat různou míru úpravy množství položek výkazu výměr z důvodu rozdílu skutečného zastoupení TTV oproti předpokladu v projektu. Proti těmto dosud logickým pravidlům obsaženým ve smlouvě i v zákoně o zadávání veřejných zakázek stojí překážka v podobě interní směrnice investora, která při již relativně malém překročení množství položky oproti projektovanému výkazu výměr vyžaduje proces schválení formou změnového řízení. Až po uzavření, resp. zveřejnění dodatku smlouvy v registru smluv lze tyto práce fakturovat. Průměrná doba zdržení fakturace řádně provedených prací je poté cca 6 měsíců přesto, že se ve skutečnosti nejedná o změnu a postupuje se v souladu s projektovou dokumentací a zadáním stavby. Výrazné negativní ekonomické dopady do cash flow zhotovitele jsou patrné již při hrubém porovnání předpokládaného a skutečného zastoupení TTV na dosud vyražené délce tunelu – viz tab. 1.

GEOTECHNICKÝ MONITORING

Geotechnický monitoring (GTM) je v kompetenci investora a ten jej zajišťuje prostřednictvím odborného dodavatele SG Geotechnika a.s. Součástí monitoringu je obvyklý rozsah prováděných měření a sledování:

- měření deformací primárního ostění (konvergenční měření); dosud naměřené hodnoty do 10 až 15 mm se pohybují pod hodnotami předpokládanými projektem;
- extenzometrická měření;
- měření zatížení primárního ostění (tenzometry);

Drawing items of the measured contract

At this point, the authors want to draw attention to an unpleasant paradox of the contractual relationship. The contract is concluded in compliance with the FIDIC – Red Book contractual conditions. It means that actually completed amounts of individual items of the bill of quantities are measured for the purpose of invoicing. The tunnel excavation is carried out using the observational method, according to the principles of which it is possible to expect different degrees of adjustment of the amount of items of the bill of quantities due to the difference between the real proportions of ESCs and the design assumptions. An obstacle stands against the until now logical rules contained in the contract and in the Public Procurement Law in the form of project owner's internal directive, which requires the process of approving in the form of change approval proceedings to take place already for relatively small exceeding of the amount of the item in comparison with the bill of quantity contained in the design. Those work items can be invoiced only after conclusion of the amendment, respectively after publishing of the amendment to the contract in the register of contracts. The average duration of the delay in invoicing the properly executed work amounts then to ca 6 months, despite the fact that there is in reality no change and the works proceed in compliance with the design documents and the contract award. The significant negative economic impacts into contractor's cash flow are obvious already in the rough comparison of the assumed and real proportions of ESCs within the length of the tunnel excavated so far – see Table 1.

GEOTECHNICAL MONITORING

Geotechnical monitoring (GTM) is in the competence of the project owner, who provides it through a professional contractor, SG Geotechnika a.s. The following common scope of measurements and observations is part of the monitoring:

- measurements of deformations of the primary lining (convergence measurements); the values up to 10 to 15mm measured so far fluctuate under the values assumed by the design;
- extensometer measurements;
- measurements of loads acting on primary lining (strain gauges);
- inclinometer measurements;
- monitoring of deformations of slopes of construction pits by surveyors;
- seismic and acoustic measurements of blasting effects; Until now, seismic measurement results have been deep under the warning states (the maximum measured vibration velocity amounts to 0.7mm/s); unfortunately, acoustic effects exceed the night-time hygienic limits;

- inklinometrická měření;
- geodetické sledování deformací svahů stavebních jam;
- seismická a akustická měření účinků trhačích prací; výsledky seismiky jsou zatím hluboko pod varovnými stavy (max. naměřená rychlost kmitání činí 0,7 mm/s); akustické účinky bohužel překračují noční hygienické limity;
- geodetické sledování povrchu (nivelace); dosud zaznamenané poklesy jsou do 15 mm;
- hydrogeologický monitoring; průměrný souhrnný výtok z tunelu je do 2,5 l/s;
- inženýrskogeologické sledování kvality horninového masivu;
- technický dozor investora;
- geodetická dokumentace výrubu kaloty (profilace);
- měření tvaru primárního ostění (skenování);
- pasportizace okolní zástavby.

Výsledky z GTM jsou vyhodnocovány na pravidelných schůzkách RaMo konaných s 14denní četností, v případě potřeby operativně. RaMo je složena ze zástupců investora, projektanta, zhotovitele ražeb a zhotovitele GTM, případně přizvaného specialisty. Cílem je minimalizovat možnost vzniku mimořádných situací, a pokud by nastaly, tak zajistit jejich rychlé a odborné zvládnutí. Na poradách RaMo jsou projednávána a upravována dílčí nasazení vstrojovacích prvků a doplňkových opatření v jednotlivých TTV tak, aby byla ražba efektivní a ekonomická. Všechny aktuální výsledky a dokumentace jsou dostupné všem zainteresovaným účastníkům výstavby on-line v informačním systému GTM BARAB.

ZÁVĚR

Dosavadní získané zkušenosti při ražbě tunelu s nízkým nadloží potvrzují důležitost provedení dostatečně podrobného inženýrskogeologického průzkumu zaměřeného i na zdokumentování poruchových zón a jejich dosahu do průřezu tunelu. V průběhu ražby je třeba správně a včas vyhodnocovat geotechnické podmínky a pokud možno v předstihu přijímat potřebná opatření.

Dalším důležitým prvkem pro úspěšnou realizaci podzemního díla je nastavení jasných a férových smluvních podmínek mezi zhotovitelem a objednatel. Ty by měly umožnit nejen efektivně přijímat a realizovat případné změny a optimalizace (v rámci tvorby RDS i v průběhu výstavby), ale i jejich průběžnou úhradu zhotoviteli.

Při přípravě stavby je rovněž důležité zajistit veškeré souhlasy a povolení od dotčených účastníků výstavby, samospráv a úřadů ještě před vlastní realizací. Jejich případné vyřizování v průběhu výstavby může způsobit zpoždění stavby a nemalé škody.

Aktuálně je výstavba tunelu přibližně ve své polovině. Cílem je celé dílo úspěšně dokončit i přes všechny překážky, které jej provázejí. Termín stavebního dokončení dvoukolejného tunelu Mezno je plánován na červen 2021. Uvedení železničního úseku s tunely Mezno a Deboreč do provozu se předpokládá v srpnu 2022.

Ing. TOMÁŠ JUST, tjust@ohlzs.cz,

Ing. PETER ČULÍK, peter.culik@ohlzs.sk, OHL ŽS, a.s.

Recenzoval Reviewed: Ing. Pavel Polák

- surveying of terrain settlement (levelling); the settlement values recorded till now are lower than 15mm;
- hydrogeological monitoring; average total rate of water discharge from the tunnel is up to 2.5L8/s;
- engineering geological monitoring of the rock mass quality;
- client's technical supervision;
- documentation of the excavated space at the top heading by surveying (profiling);
- condition survey of buildings in the vicinity.

GTM monitoring results are assessed at regular meetings of the Monitoring Board held at a 14-day frequency or operatively if necessary. The Monitoring Board consists of representatives of the project owner, consulting engineer (designer), contractor for tunnel excavation and GTM contractor, possibly an invited specialist. The objective is to minimise the possibility of origination of extraordinary situations and, if they happen, to provide prompt and professional coping with them. At the Monitoring board meetings, partial use of support elements and additional measures for individual ESCs are discussed and adjusted so that the excavation is effective and economic. All current results and documents are available to all interested project parties on-line in the GTM BARAB information system.

CONCLUSION

Experience gained so far in excavation of the tunnel with shallow overburden confirms the importance of conducting sufficiently detailed engineering geological survey focused on documentation of fault zones and their reaching into the tunnel cross-section. During the excavation, it is necessary to correctly and timely assess geotechnical conditions and, if possible, adopt the necessary measures in advance.

Another important element for the successful implementation of the underground work is the setting of clear and fair contractual conditions between the contractor and the client. They should allow not only for effective accepting and implementing changes and optimisations, if any (within the framework of the creation of the final design and during the course of construction), but also for continual payments for them to the contractor.

It is also important when preparing the construction to secure all approvals and permits from the affected parties of construction, self-governments and offices before the start of the construction work. Possible obtaining them during the course of construction may cause delays of the works and considerable damage.

The construction of the tunnel is currently about halfway through. The objective is to successfully complete the whole work, despite all obstacles accompanying it. The deadline for structural completion of the double-rail Mezno tunnel is planned for June 2021. Bringing the track section with the Mezno and Deboreč tunnels into service is expected in August 2022.

Ing. TOMÁŠ JUST, tjust@ohlzs.cz,

Ing. PETER ČULÍK, peter.culik@ohlzs.sk, OHL ŽS a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] KRAMEŠ, M., GRAMBLIČKA, M. *Modernizace trati Sudoměřice – Votice, SO 71-25-01, 02, 03, 06 Tunel Mezno, stupeň Projekt.* SUDOP PRAHA a.s., 01/2013
- [2] ZÍTKO, T., ROŽEK, J. *Modernizace trati Sudoměřice – Votice, SO 71-25-02.1 Tunel Mezno, Ražba a primární ostění, stupeň RDS.* SUDOP EU a.s., AMBERG Engineering, a.s., 11/2018
- [3] KÖSSLER, M., VÍDEŇSKÝ, A. *Zprávy z výsledků GT monitoringů za období 10/2018–03/2020*

SANACE TUNELU AROSA, ŠVÝCARSKO

AROSA TUNNEL RECONSTRUCTION, SWITZERLAND

LUMÍR KLIŠ, ELISABETH SATTLEGGER, MÁRIA TARBAJOVÁ

ABSTRAKT

Článek pojednává o rozsáhlé rekonstrukci železničního tunelu Arosa ve Švýcarsku, na které se projekčně podílí firma AMBERG Engineering Brno, a.s. Technický stav tunelu již vyžaduje rekonstrukci a investor současně rozhodl o zvětšení průřezného profilu. V této kombinaci dochází k tomu, že celý ražený tunel, včetně portálových hloubených částí, bude demolován a nahrazen novým, s větším průřezným profilem. Celá stavba je mimo jiné složitá především v tom, že nad tunelem je umístěna zástavba v podobě hotelů, místy se bude ostění tunelu dotýkat i základů, a navíc stavba bude probíhat v časech mezi průjezdy vlaků a v nočních hodinách. Rekonstrukce byla zahájena na začátku července tohoto roku a bude dokončena do konce roku 2021.

ABSTRACT

The paper deals with extensive reconstruction of the Arosa railway tunnel in Switzerland, on the design which AMBERG Engineering Brno, a.s., collaborates on. The technical condition of the tunnel already requires reconstruction and the project owner at the same time decided that the clearance profile should be enlarged. In this combination it happens that the whole mined tunnel, including the cut-and-cover portal sections, will be demolished and will be replaced with a new structure, with a larger clearance profile. The whole construction is complicated among others by the fact that buildings in the form of hotels are located above the tunnel and the tunnel lining will locally even touch the foundations; in addition, the construction operations will proceed within the intervals of time between the passes of trains and during night. The reconstruction commenced at the beginning of July 2020 and will be finished by the end of 2021.

ÚVOD

Jednokolejný tunel Arosa leží ve Švýcarsku na Rhétské dráze mezi Churem a Arosou a je jedním z 19 tunelů na trase. Nachází se v nadmořské výšce přibližně 1730 m n. m., je dlouhý 299 m a jeho podélný sklon je 60 ‰. Tunel prochází zastavěným územím (obr. 1), přičemž základy jednoho dodatečně postaveného domu (hotelu Haus am Wald) leží přímo na klenbě tunelu. Ostění tunelu i portály

INTRODUCTION

The single-rail Arosa tunnel lies in Switzerland, on the Rhaetian rail line between Chur and Arosa. It is one of 19 tunnels on the track. It is located at an altitude approximately 1730m a.s.l., is 299m long and its longitudinal gradient amounts to 60‰. The tunnel passes across a developed area (see Fig. 1), where foundations of one additionally built building lie directly on the tunnel vault. The tunnel lining and the portals are built from stone masonry (see Figures 2, 3). The tunnel was brought into service in 1914, has been electrified since 1998 and a requirement for its rehabilitation appeared in 2015, after an inspection visit in 2015. The reason was that the tunnel damage was categorised as class 3–4 on the five-point scale which is used in Switzerland. A sprayed concrete block with the area of 2.5×1.5m threatening to fall on the track was discovered during the inspection. This place was subsequently stabilised with welded mesh and shotcrete. In 2017, neighbouring Posthotel caught fire. Another inspection was carried out after the fire and various leaks and loose stones were found in the lining, which were probably results of the action of fire water.



Obr. 1 Umístění tunelu
Fig. 1 Tunnel location

GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS

The tunnel passes through an extensive block of a layer transported by successive orogenic movements within the framework of the Alpine orogeny between Obersee and Untersee lakes. This layer is formed by heavily fractured rock blocks of dolomite, serpentinite, radiolarite and crystalline material. Larger rock blocks do not occur there.

The transported material itself is formed by the Arosa bedded layer and a moraine with similar petrographical composition thrust over it. Transition between the transported material and the thrust moraine was guessed to be about 50m from the portal (at TM 50),



Obr. 2 Vjezdový portál Chur
Fig. 2 Chur entrance portal

jsou postavené z kamenného zdiva (obr. 2, 3). Tunel byl uveden do provozu v roce 1914, od roku 1998 je elektrifikován a po inspekční prohlídce v roce 2015 vyvstal požadavek na jeho sanaci, neboť byl tunel zařazen do 3.–4. třídy poškození z pětistupňové škály, která se používá ve Švýcarsku. Při této prohlídce byl navíc na jednom místě v oblasti klenby objeven blok stříkaného betonu o ploše $2,5 \times 1,5$ m hrozcící pádem do kolejí. Toto místo bylo následně zajištěno pomocí ocelové sítě a stříkaného betonu. V roce 2017 došlo k požáru sousedícího Posthotelu, po němž byla provedena další prohlídka tunelu a byly zjištěny různé průsaky a volné kameny v ostění, což bylo způsobeno pravděpodobně požární vodou.

GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY

Tunel prochází rozsáhlým blokem vrstvy transportované následnými horotvornými pohyby v rámci alpinského vrásnění mezi Ober- a Untersee. Tato vrstva se skládá ze silně porušených skalních bloků dolomitů, serpentinitů, radiolaritů a krystalinického materiálu. Větší skalní bloky se zde nevyskytují.

Vlastní silně porušené podloží je tvořeno vrstevnatou zónou Arosa a na ni je nahrnuta ledovcová moréna s podobným petrografickým složením. Přejít mezi porušeným podložím z transportovaného horninového materiálu a morénou byl odhadnutý zhruba 50 m od portálu (v TM 50), tudíž větší část tunelu je vyražena v moréně, což je možné vidět na obr. 4. Rozvolněná hornina (moréna a transportovaný horninový materiál podloží) má obecně vysokou únosnost a je nepatrně citlivá na sedání. Je však klasifikována jako velmi citlivá na přítomnost vody. Působení vody vede rychle k jejímu změkčení a k vyplavování zejména jemnozrnného materiálu (sufozi), a tím ke snížení stability.

therefore a larger part of the tunnel was driven through the moraine, which can be seen in Fig. 4. Loose ground (moraine and transported material) has generally high loading capacity, is slightly sensitive to settlement and little stable. But it is classified as highly sensitive to water. The action of water leads quickly to its softening and to suffusion, mainly of fine material, thus to reduced stability.

The position and the course of water table in immediate vicinity of the Arosa tunnel are not known, but an observation borehole was carried out in 2014. Within the framework of the survey, water table was encountered at the altitude of ca 1730m a.s.l. The Obersee lake level lies approximately at the altitude of 1734m a.s.l. Because the distance of the tunnel from Obersee is about 85m, it is likely that there is hydraulic connection between the lakes and groundwater.

RECONSTRUCTION EXTENT

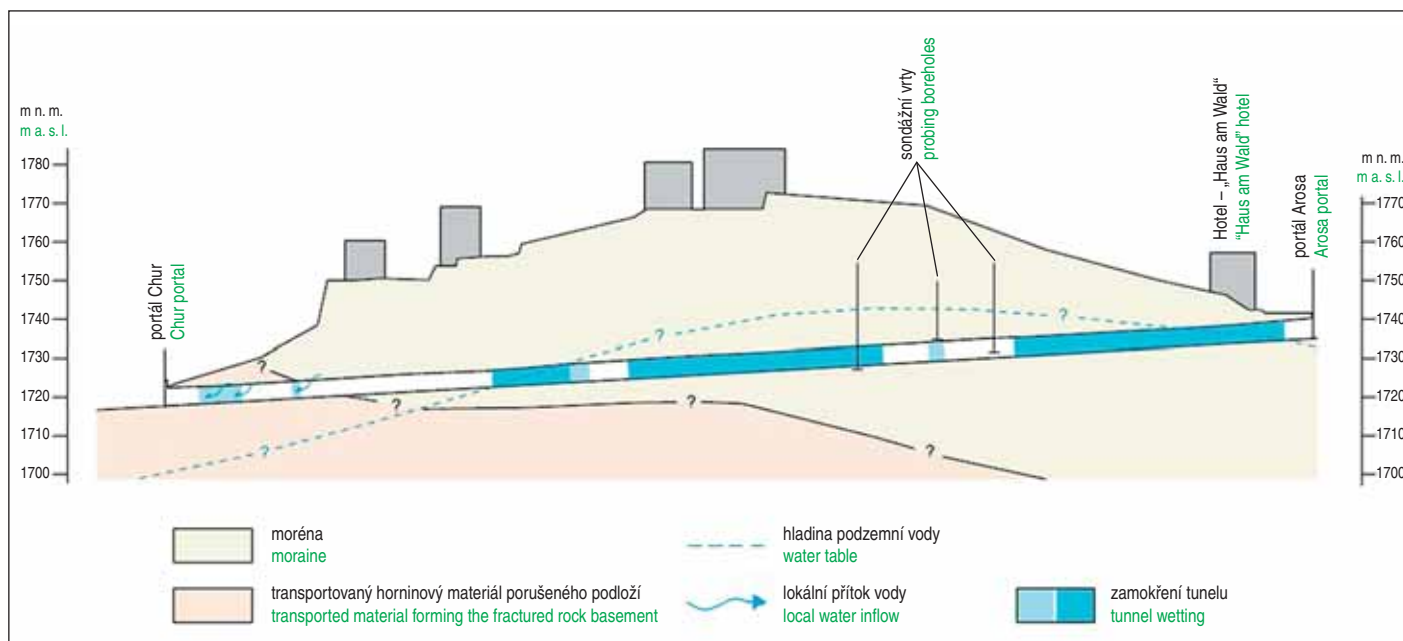
Due to the unsatisfactory technical condition and the need for enlarging the clearance profile, the existing lining of the whole tunnel and its portal parts will be demolished. In the design, the tunnel was divided into four parts according to the type of structure, respectively the excavation support:

- Chur portal area – portal wall and cut-and-cover section of the tunnel;
- mined tunnel;
- mined tunnel in the area of crossing with foundations of “Haus am Wald” hotel;
- Arosa portal area – portal wall and cut-and-cover section of the tunnel.

In addition, drainage for collecting water from the rock massif, water from the track ballast and cable lines, which will be placed in protective pipes under walkways, will be changed.



Obr. 3 Výjezdový portál Arosa
Fig. 3 Arosa exit portal



Obr. 4 Podélný řez s geologií
Fig. 4 Longitudinal section with geology

Poloha a průběh hladiny podzemní vody v bezprostřední blízkosti tunelu Arosa nejsou známy, avšak v roce 2014 byl proveden pozorovací vrt. V rámci průzkumu byla hladina vody cca 1730 m n. m. Hladina jezera Obersee leží asi 1734 m n. m. Je pravděpodobné hydraulické spojení mezi hladinami jezera a podzemních vod, neboť vzdálenost tunelu od Obersee je přibližně 85 m.

ROZSAH REKONSTRUKCE

Kvůli neuspokojivému technickému stavu tunelu a potřebě zvětšení průjezdného profilu dojde k demolici stávajícího ostění celého tunelu i jeho portálových částí. Projektčně byl tunel rozdělen do čtyř částí podle typu konstrukce, resp. zajištění:

- portálová oblast Chur – portálová stěna a hloubená část tunelu;
- ražený tunel;
- ražený tunel v místě křížení se základy hotelu „Haus am Wald“;
- portálová oblast Arosa – portálová stěna a hloubená část tunelu.

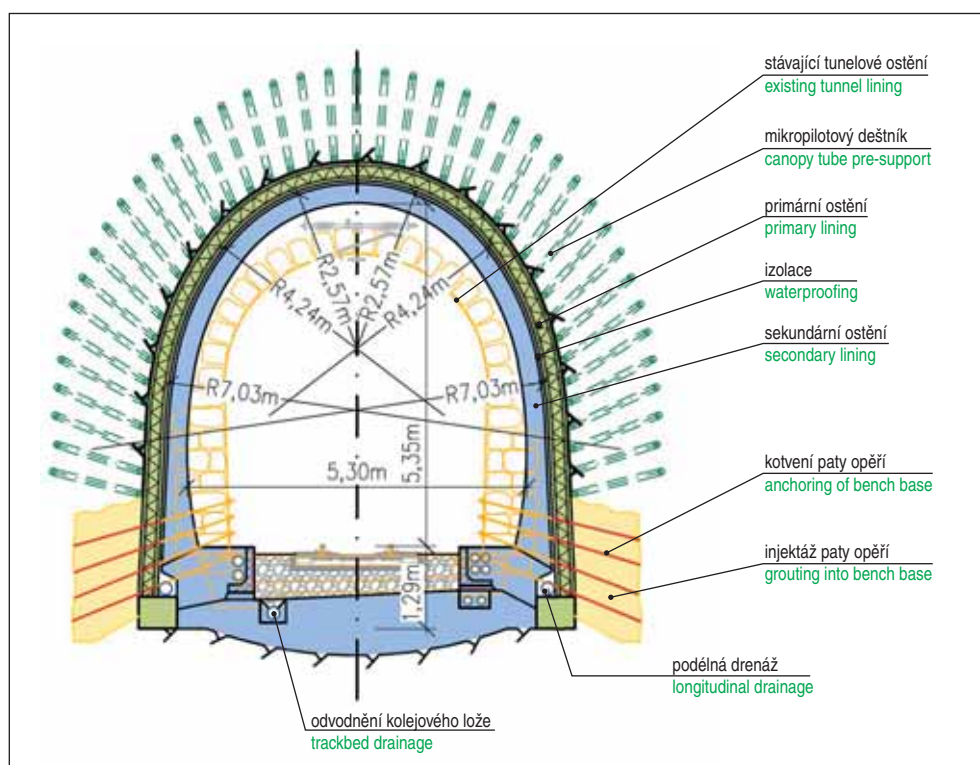
V tunelu bude rovněž zcela vyměněna kanalizace jak pro jímání vod z horninového masivu, tak i vod z kolejového lože a dále kabelová vedení, která budou uložena v chráničkách pod chodníky.

ZAJIŠTĚNÍ VÝRUBU TUNELU V ROZVOLNĚNÉ HORNINĚ

Vzhledem k tomu, že tunel prochází rozvolněnou horninou, je potřeba k zajištění výrubu mikropilotový deštník, který bude doplněn ve spodní části opěrů zpevňující injektáží a tyčovými kotvami (obr. 5). Po zhotovení těchto prací může dojít k výrubu celého profilu tunelu po záběrech dlouhých jeden metr zajištěných ocelovými nosníky a stříkaným betonem s ocelovými vlákny. Tloušťka primárního ostění

TUNNEL EXCAVATION SUPPORT IN LOOSE GROUND

With respect to the fact that the tunnel passes through loose ground, it is necessary to support the excavation by canopy tube pre-support, which will be supplemented in the lower part of the bench by reinforcing grouting and rod anchors (see Fig. 5). After completion of these operations, it will be possible to excavate the whole tunnel profile with advance rounds one metre long, stabilised by lattice girders and steel fibre reinforced shotcrete. The primary lining thickness of 300mm was designed by structural analysis. Descriptions of materials to be used for the support of the tunnel excavation through loose rock (ground) are presented in Table 1.



Obr. 5 Příčný řez tunelem – zajištění výrubu a sekundární ostění
Fig. 5 Tunnel cross-section – excavation support and secondary lining

Tab. 1 Materiálové specifikace zajištění výrubu tunelu v rozvolněné hornině

úsek v rozvolněné hornině třída zajištění 4	mikropilotový deštník průměr Ø 114,3 mm, tl. stěny 6,3 mm mez kluzu f_{yk} 355 N/mm ² délka 13 m, přesah 3,5 m, rozteč 0,35 m
	stříkaný beton SC6 C30/37, XA1, XD1, XC3, XF3 CI = 0,2, $D_{max} = 8$ mm
	ocelová vlákna 5D, délka 60 mm, Ø 1,0 mm, dávkování 22 kg/m ³ tahová pevnost betonového průřezu $f_{ctd} = 0,40$ N/mm ²
	výztuž čtyřprutový příhradový nosník P140-26, rozteč 1,0 m, B500B, $f_{sd} = 435$ N/mm ²

Tab. 2 Materiálové specifikace zajištění výrubu tunelu pod hotelem „Haus am Wald“

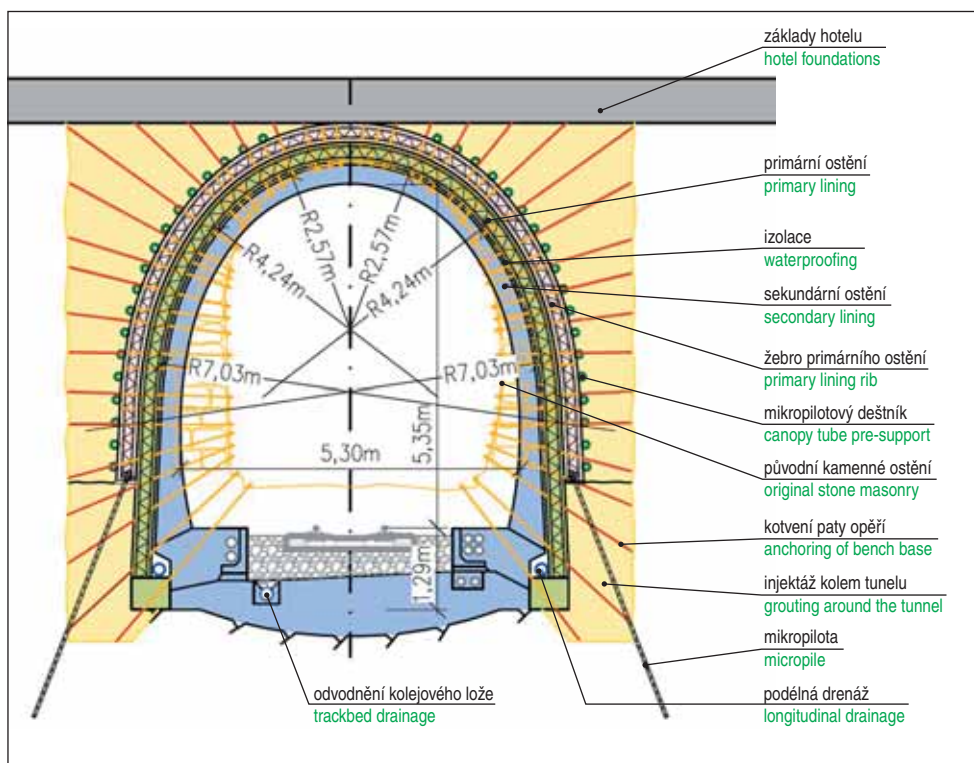
beton	stříkaný beton – žebra SC6 C30/37, XA1, XD1, XC3, XF3 CI = 0,2, $D_{max} = 8$ mm
	ocelová vlákna 5D, délka 60 mm, Ø 1,0 mm, dávkování 22 kg/m ³ tahová pevnost betonového průřezu $f_{ctd} = 0,40$ N/mm ²
	výztuž čtyřprutový příhradový nosník P140-26, rozteč 1,0 m, B500B, $f_{sd} = 435$ N/mm ²
injektáže	rozteč = 1,00 m, délka 4 m dvojitý obturátor, manžetová trubka suspenze z portlandského cementu CEM 42.5
mikropilotový deštník	průměr Ø 114,3 mm, tloušťka stěny 6,3 mm mez kluzu f_{yk} 355 N/mm ²

Table 1 Specifications of materials to be used for support of the excavation through loose ground

loose ground section, excavation support class 4	canopy tube pre-support diameter Ø 114.3mm, wall thickness 6.3mm yield strength f_{yk} 355N/mm ² 13m length, overlapping 3.5m, spacing 0.35m
	shotcrete SC6 C30/37, XA1, XD1, XC3, XF3 CI = 0.2, $D_{max} = 8$ mm
	steel fibres 5D, 60mm long, Ø 1.0mm, dosing 22kg/m ³ tensile strength of concrete cross-section $f_{ctd} = 0.40$ N/mm ²
	reinforcement four-rod lattice girder P140-26, spacing 1.0m, B500B, $f_{sd} = 435$ N/mm ²

Table 2 Specifications of materials to be used for tunnel excavation support under “Haus am Wald” hotel

concrete	shotcrete – ribs SC6 C30/37, XA1, XD1, XC3, XF3 CI = 0.2, $D_{max} = 8$ mm
	steel fibres 5D, 60mm long, Ø 1.0mm, dosing 22kg/m ³ Tensile strength of concrete cross-section $f_{ctd} = 0.40$ N/mm ²
	reinforcement four-rod lattice girder P140–26, spacing 1,0m, B500B, $f_{sd} = 435$ N/mm ²
grouting	spacing = 1.00m, 4m long double packer, tube a' manchette Portland cement CEM 42.5 suspension
canopy tube pre-support	diameter Ø 114.3mm, wall thickness 6.3mm yield strength f_{yk} 355N/mm ²

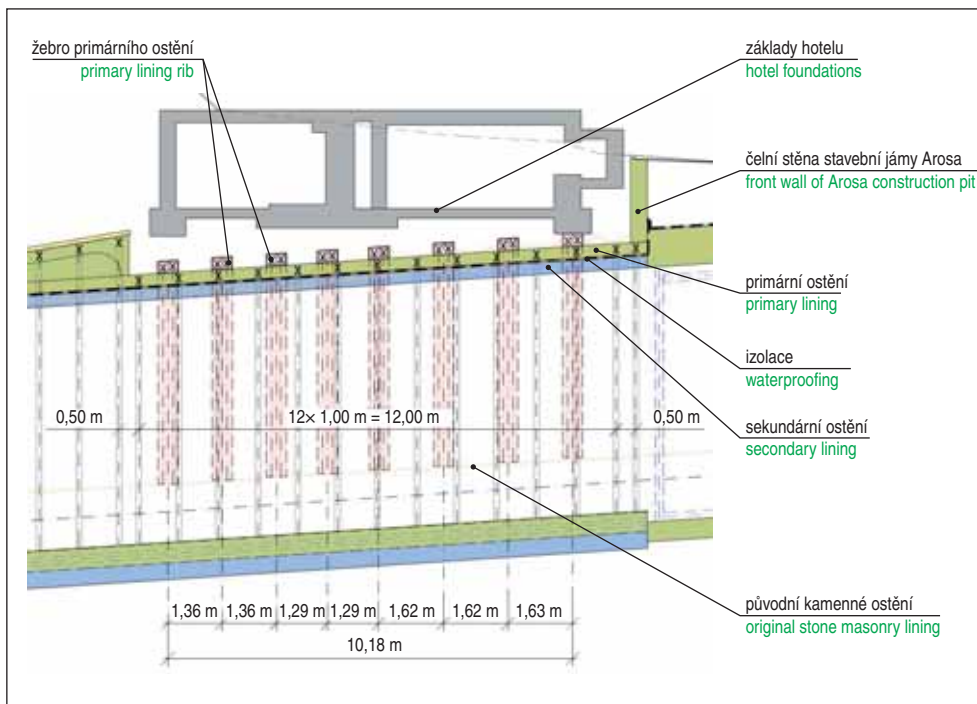


Obr. 6 Příčný řez tunelem v místě křížení pod hotelem – zajištění výrubu a sekundární ostění

Fig. 6 Tunnel cross-section at the crossing under the hotel – excavation support and secondary lining

TUNNEL EXCAVATION SUPPORT UNDER “HAUS AM WALD” HOTEL

A 13m long section of the tunnel passage under the hotel is a relatively difficult problem because of the fact that the hotel foundations will be in a direct contact with the tunnel excavation support, which is designed for large concentration of stress existing under the foundation spread footings. The increase in the loading capacity of the primary lining will be achieved in this location by 300×500mm shotcrete ribs reinforced with four-rod lattice girders. The loading capacity of the proposed solution has to be sufficient at each stage of the construction. A requirement followed from this requirement that grout was to be injected into the foundation ground under the hotel. As in the whole tunnel, the canopy tube pre-support will be used even in this part. In contrast with the rest of the tunnel, it copies the direction of the tunnel axis and rests on the ribs carried



Obr. 7 Podélný řez tunelem v místě křížení pod hotelem – zajištění výrubu a sekundární ostění
Fig. 7 Longitudinal section through the tunnel at the crossing under the hotel – excavation support and secondary lining

byla statickým výpočtem navržena 300 mm. Popisy materiálů pro zajištění výrubu tunelu v rozvolněné hornině (zemíně) jsou uvedeny v tab. 1.

ZAJIŠTĚNÍ VÝRUBU TUNELU POD HOTELEM „HAUS AM WALD“

Poměrně složitým problémem celého projektu je 13 m dlouhá oblast podchodu tunelu pod hotelem, protože základy hotelu

Tab. 3 Materiálové specifikace hydroizolace a odvodnění tunelu

hydroizolace tunelu	hydroizolace klenby drenážní matrace: Sikaplan W Tundrain Typ A hydroizolační fólie: Sikaplan WP 2110-21HL, $d \geq 2$ mm ochranná membrána: Sikaplan WP Protection Sheet-31H
odvodnění tunelu – horninové vody	podélná kanalizace oboustranná podélná kanalizace HDPE plně perforovaná DN 200 mm propustný obsyp fr. 16/32 geotextilie SYTEC NW Medium – 200 g/m ²
odvodnění tunelu – vody z kolejového lože	podélná kanalizace jednostranná podélná kanalizace HDPE drenáž DN 200 mm, perforovaná nebo s drážkou, vtoková plocha/plocha perforace ≥ 150 cm ² /m podkladní beton beton CEM 250 kg/m ³ , 0/16, C1 propustný štěrk fr. 16/32 geotextilie SYTEC NW Medium – 200 g/m ²

out outside the the existing lining. The mutual position of the upper part of the rib and the hotel foundation does not allow for installation of the canopy tubes at the top of the vault, which is the reason why they have to be omitted in that location. Jointly, all three elements form a supporting envelope (see Figures 6, 7) for implementation of the new double-pass lining. In this way, the system of ribs and grouting is designed to transfer loads induced by the hotel directly into the ground. Swiss-Gevi micropiles 50mm in diameter and 4.0–6.0m long will be in addition installed at the bases of the ribs to increase their loading capacity, thus to prevent increased settlement. Descriptions of materials to be used for supporting the tunnel excavation under the hotel are presented in Table 2.

TUNNEL WATERPROOFING AND DRAINAGE

Umbrella waterproofing system will be installed between the primary and secondary liners. It will be

complemented with longitudinal drainage. Descriptions of materials to be used for tunnel waterproofing and drainage are presented in Table 3.

SECONDARY LINING

The tunnel reconstruction does not allow for total closing of the line to transport, only night closures limited in terms of duration are permitted. This fact significantly affects the secondary lining type

Table 3 Specifications of materials to be used for tunnel waterproofing and drainage

tunnel waterproofing	waterproofing of vault drainage mat: Sikaplan W Tundrain Type A waterproofing membrane: Sikaplan WP 2110-21HL, $d \geq 2$ mm protective membrane: Sikaplan WP Protection Sheet-31H
tunnel drainage – groundwater	longitudinal drainage double-sided longitudinal drains HDPE fully perforated DN 200mm permeable padding fr. 16/32 geotextile SYTEC NW Medium – 200g/m ²
tunnel drainage – water from trackbed	longitudinal drainage single-sided longitudinal drain HDPE drain DN 200mm, perforated or with a groove, inflow area / perforation area ≥ 150 cm ² /m concrete bed concrete CEM 250kg/m ³ , 0/16, C1 permeable gravel fr. 16/32 geotextile SYTEC NW Medium – 200g/m ²

Tab. 4 Materiálové specifikace sekundárního ostění

sekundární ostění – klenba a opěří	stříkaný beton SC6 C30/37, XA1, XD1, XC3, XF3 CI = 0,2, $D_{max} = 8$ mm
	ocelová vlákna 5D, délka 60 mm, $\varnothing 1,0$ mm, dávkování 22 kg/m ³ tahová pevnost betonového průřezu $f_{ctd} = 0,40$ N/mm ²
deska dna – protiklenba	beton NPK F, C30/37 XC4, XD3, XF2, CI = 0,1, $D_{max} = 32$ mm, (NPK F)
	výztuž B500B, $f_{sd} = 435$ N/mm ² krytí $c_{nom} \geq 50$ mm

budou v přímém kontaktu se zajištěním výrubu tunelu, které je navrženo na velkou koncentraci napětí pod základovými pásy. Zvýšení únosnosti primárního ostění bude v tomto úseku dosaženo pomocí žebér ze stříkaného betonu rozměru 300 × 500 mm vyztužených čtyřprutovými příhradovými nosníky. Navržené řešení musí být dostatečně únosné v každé fázi výstavby. Z toho vyplynul požadavek na proinjektování základové půdy pod hotelem. Stejně jako v celém tunelu, bude i v této části použitý mikropilotový deštník, který na rozdíl od zbytku tunelu kopíruje směr osy tunelu a opírá se o provedená žebra vně stávajícího ostění. Vzájemná poloha horní části žebra a základu hotelu neumožňuje umístění mikropilot ve vrcholu klenby, proto budou v tomto místě vynechány. Společně tak všechny tři prvky vytváří nosnou obálku (obr. 6, 7) pro realizaci nového dvouplášťového ostění. Systém žebér a injektáže je navržen tak, že přenáší zatížení od hotelu přímo do horniny. Pro zvýšení únosnosti paty žebér a tím i zabránění zvýšeného sedání, budou právě v patách žebér umístěny navíc mikropiloty typu Swiss-Gewi, průměru 50 mm a délky 4,0–6,0 m. Popisy materiálů pro zajištění výrubu tunelu pod hotelem jsou uvedeny v tab. 2.

HYDROIZOLACE A ODVODNĚNÍ TUNELU

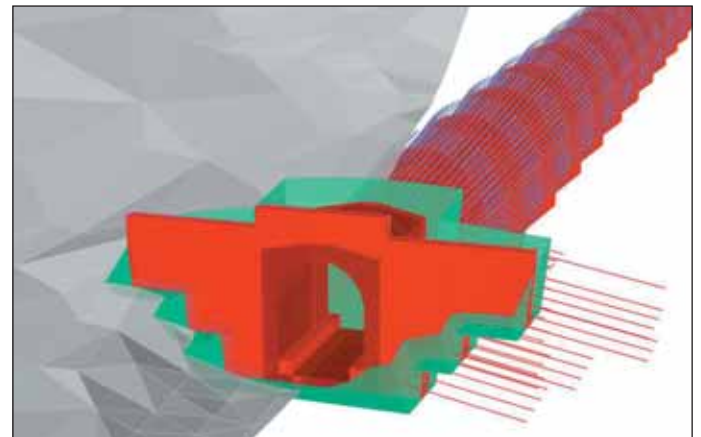
Mezi primárním a sekundárním ostěním bude deštníková hydroizolace doplněná podélnou drenáží. Popisy materiálů hydroizolace a odvodnění tunelu jsou uvedeny v tab. 3.

SEKUNDÁRNÍ OSTĚNÍ

Rekonstrukce tunelu neumožňuje úplnou výlukou, ale pouze časově omezené výluky v nočních hodinách, což významně ovlivňuje typ sekundárního ostění, neboť nelze použít monolitický beton do bednění. Na stavbě bude používána technologie stříkaného betonu na zhotovení primárního ostění, a proto se nabízí využití této technologie i pro zhotovení sekundárního ostění o tloušťce 300 mm. I zde budou jako výztuž použita ocelová vlákna. Nosný průřez sekundárního ostění bude

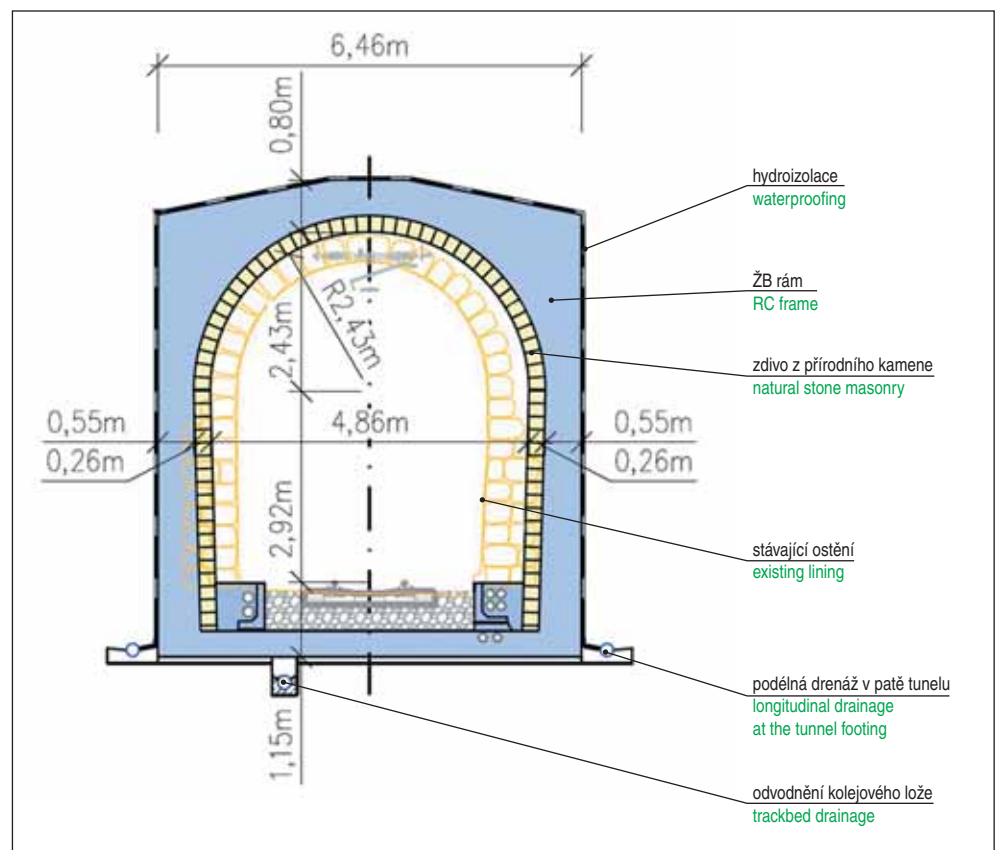
Table 4 Specifications of materials to be used for the secondary lining

secondary lining – vault and bench	shotcrete SC6 C30/37, XA1, XD1, XC3, XF3 CI = 0,2, $D_{max} = 8$ mm
	steel fibres 5D, 60mm long, $\varnothing 1.0$ mm, dosing 22kg/m ³ tensile strength of concrete cross-section $f_{ctd} = 0.40$ N/mm ²
bottom slab – invert	concrete NPK F, C30/37 XC4, XD3, XF2, CI = 0,1, $D_{max} = 32$ mm, (NPK F)
	reinforcement B500B, $f_{sd} = 435$ N/mm ² concrete cover $c_{nom} \geq 50$ mm



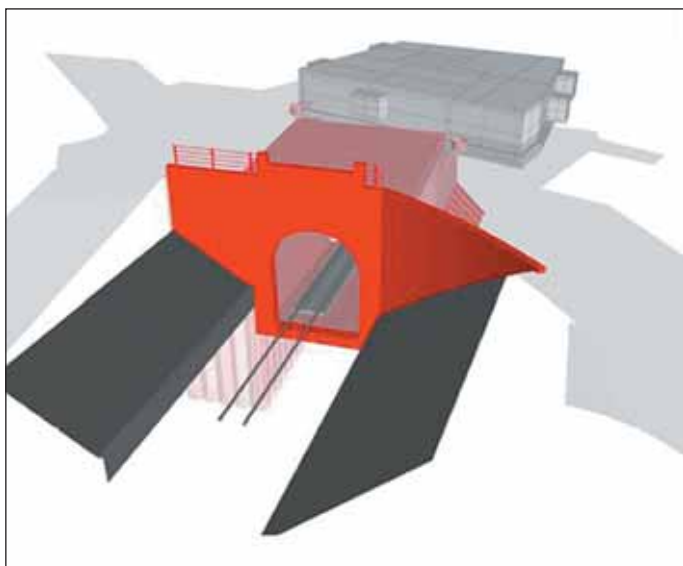
Obr. 8 Portál a hloubená část Chur

Fig. 8 Portal and Chur cut-and-cover section



Obr. 9 Příčný řez hloubenou částí Chur

Fig. 9 Cross-section through Chur cut-and-cover section



Obr. 10 Portál a hloubená část Arosa
Fig. 10 Portal and Arosa cut-and-cover section

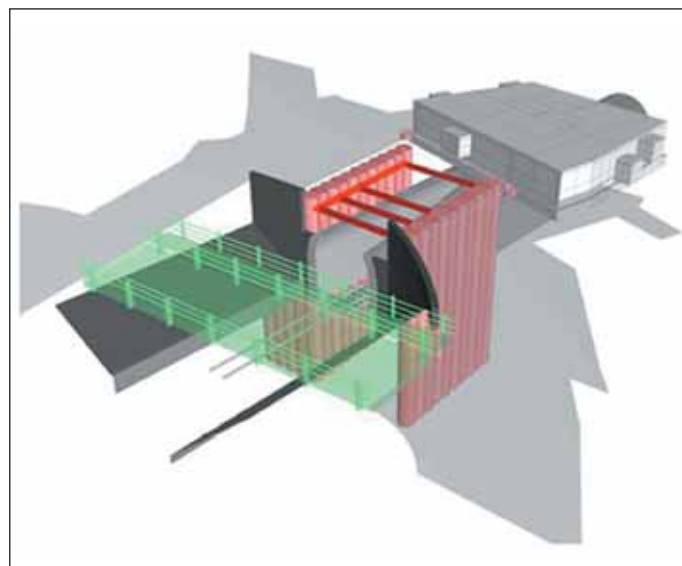
uzavřen monolitickou ŽB protiklenbou. Popisy materiálů sekundárního ostění tunelu jsou uvedeny v tab. 4.

Primární ostění bude sloužit pouze pro dočasné zajištění výrubu do doby zhotovení sekundárního ostění, které má poté přenášet zatížení působící po celou životnost tunelu.

PORTÁLOVÉ OBLASTI

Portálová křídla budou tvořena úhlovými stěnami napojenými na konstrukci hloubené části tunelu, což umožňuje subtilnější návrh základových konstrukcí úhlových zdí.

Hloubená část na straně Chur dosahuje délky 7,5 m a stavební jáma bude zajištěna stříkaným betonem o tloušťce 125 mm a hřebíky v rastru 1,5 m (obr. 8). Tvar průřezu ostění se ztotožňuje s tvarem ražené části (obr. 9). Hydroizolace bude chránit betonové konstrukce po celé její vnější ploše



Obr. 11 Pomocný most a zajištění stavební jámy tunelu na portálu Arosa
Fig. 11 Auxiliary bridge and stabilisation of construction pit at Arosa portal

because it is not possible to use concrete cast in situ behind formwork. The shotcreting technique is used on site for the construction of the primary lining, therefore the application of this technique offers itself even for the construction of the 300mm thick secondary lining. Steel fibres will also be used here as reinforcement. The load-bearing cross-section through the secondary lining will be closed by cast-in-situ reinforced concrete invert. Descriptions of materials to be used for the secondary lining are presented in Table 4.

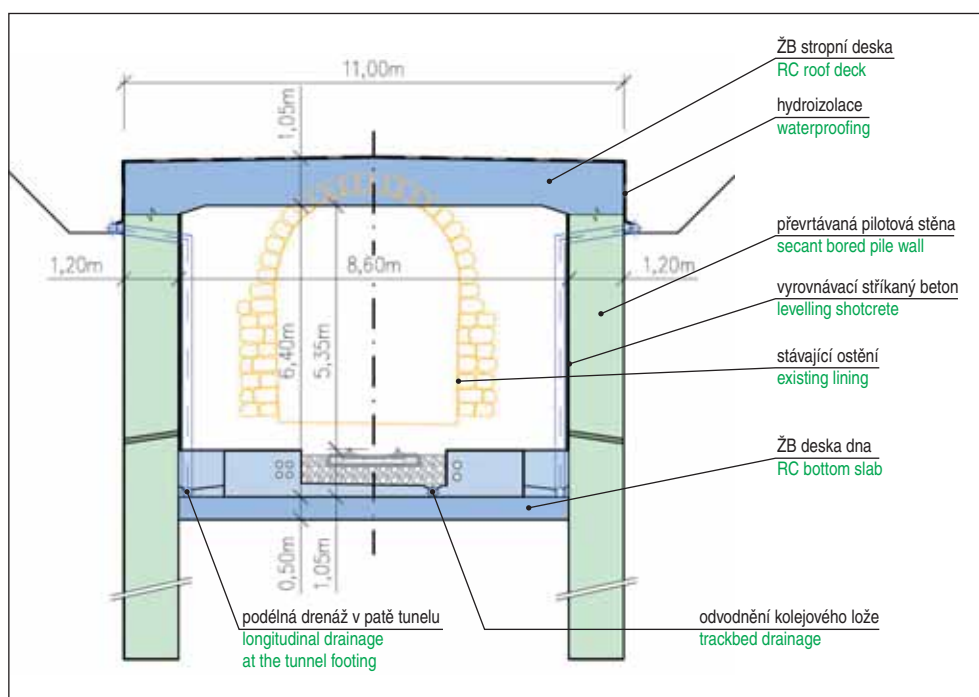
The primary lining will be used only for temporary stabilisation of the excavation until the secondary lining, which is to transfer loads acting throughout the tunnel life, is finished.

PORTAL AREAS

The portal wings will be formed by angle walls connected to the structure of the cut-and-cover section of the tunnel, which allows for more subtle design of angle wall structures.

The length of the cut-and-cover part of the Chur side reaches 7.5m and the construction pit will be stabilised with a 125mm thick layer of shotcrete and nails installed at 1.5m spacing (see Fig. 8). The shape of the lining cross-section is identical with the shape in the mined part (see Fig. 9). The waterproofing system will protect concrete structures along the whole external surface and water flowing down on it will be directed to the outer drainage system.

The length of the cut-and-cover section on the Arosa side reaches 12.3m and the construction pit will be stabilised not only with a 125mm thick shotcrete layer and nails installed at 1.5m spacing, but also along the tunnel axis by secant bored pile walls (see Figures 10, 11). The walls will be braced with steel beam sections and, in the lower part, by a reinforced concrete slab, which will serve even in the final state. The pile walls will be used as



Obr. 12 Příčný řez hloubenou částí Arosa
Fig. 12 Cross-section through Arosa cut-and-cover section

Tab. 5 Materiálové specifikace konstrukcí v portálových oblastech

portál Chur	beton NPK F: C30/37, XC4, XD3, XF2, Cl=0,1, $D_{max} = 32$ mm výztuž B500B, $f_{sd} = 435$ N/mm ² krytí $c_{nom} \geq 55$ mm
zajištění stavební jámy portálu Chur	stříkaný beton SC11 C25/30, XF1 Cl = 0,2, $D_{max} = 8$ mm, J2 výztuž ocelová svařovaná síť K 335 B500B hřebíky maximální vodorovná rozteč = 1,5 m Swiss-GEWI-tyč Ø 20 vč. kotevní deska 250 × 250 mm, ocel S 500C
portál Arosa	převrtávaná pilotová stěna beton C20/25 Cl = 0,1, $D_{max} = 32$ mm, F5 průměr = 1,20 m, překrytí 200 mm, $c_{nom} = 50$ mm výztuž podélná výztuž Ø 22, betonářská ocel B500B spirála Ø 14, betonářská ocel B500B zákrytová deska a deska dna: NPK F: C30/37, XC4, XD3, XF2, Cl=0,1, $D_{max} = 32$ mm výztuž B500B, $f_{sd} = 435$ N/mm ² krytí $c_{nom} \geq 55$ mm
hydroizolace	hydroizolační systém: drenážní matrace: Sikaplan W Tundrain Typ A hydroizolace: Sikaplan WP 2110-21HL (tloušťky 2 mm) ochranná membrána: Sikaplan Protection Sheet-31H flexibilní obvodové injekční tkaninové hadičky na přechodu portálové části a raženého tunelu
zdivo z přírodního kamene	spárovací malta Röfix Creteo Gala CC 645 hrubá

a vody po ní stékající budou odvedeny do vnějšího drenážního systému.

Hloubená část na straně Arosa dosahuje délky 12,3 m a stavební jáma bude zajištěna jednak stříkaným betonem o tloušťce 125 mm a hřebíky v rastru 1,5 m, ale i podél osy tunelu převrtávanými pilotovými stěnami (obr. 10, 11). Stěny budou v koruně rozepřeny nosníky z ocelových profilů a ve spodní části ŽB deskou, která bude nadále sloužit i v definitivním stavu. Pilotové stěny budou po vyrovnání vnitřního líce stříkaným betonem využity jako stěny tunelu a tvořit podporu pro stropní desku tunelu (obr. 12), která má zároveň převádět stávající místní komunikaci. Při výkopu stavební jámy mezi pilotami bude nutné zajistit čelní stěnu stavební jámy lícující se stěnou hotelu (obr. 7). Čelní stěna bude zajištěna pomocí stříkaného betonu tloušťky 400 mm a hřebíky v rastru 1,0 m. Hydroizolace poskytne ochranu portálové stěny po celé její rubové straně a tunel bude chráněn před pronikáním vody pouze zaizolováním stropní desky. Takto zachycené vody budou odváděny do vnějšího drenážního systému. Průsaky přes pilotové stěny budou jímány podélným vnitřním drenážním systémem umístěným v patách tunelu. Popisy materiálů konstrukcí v portálových oblastech jsou uvedeny v tab. 5.

Table 5 Specifications of materials to be used for structures in portal areas

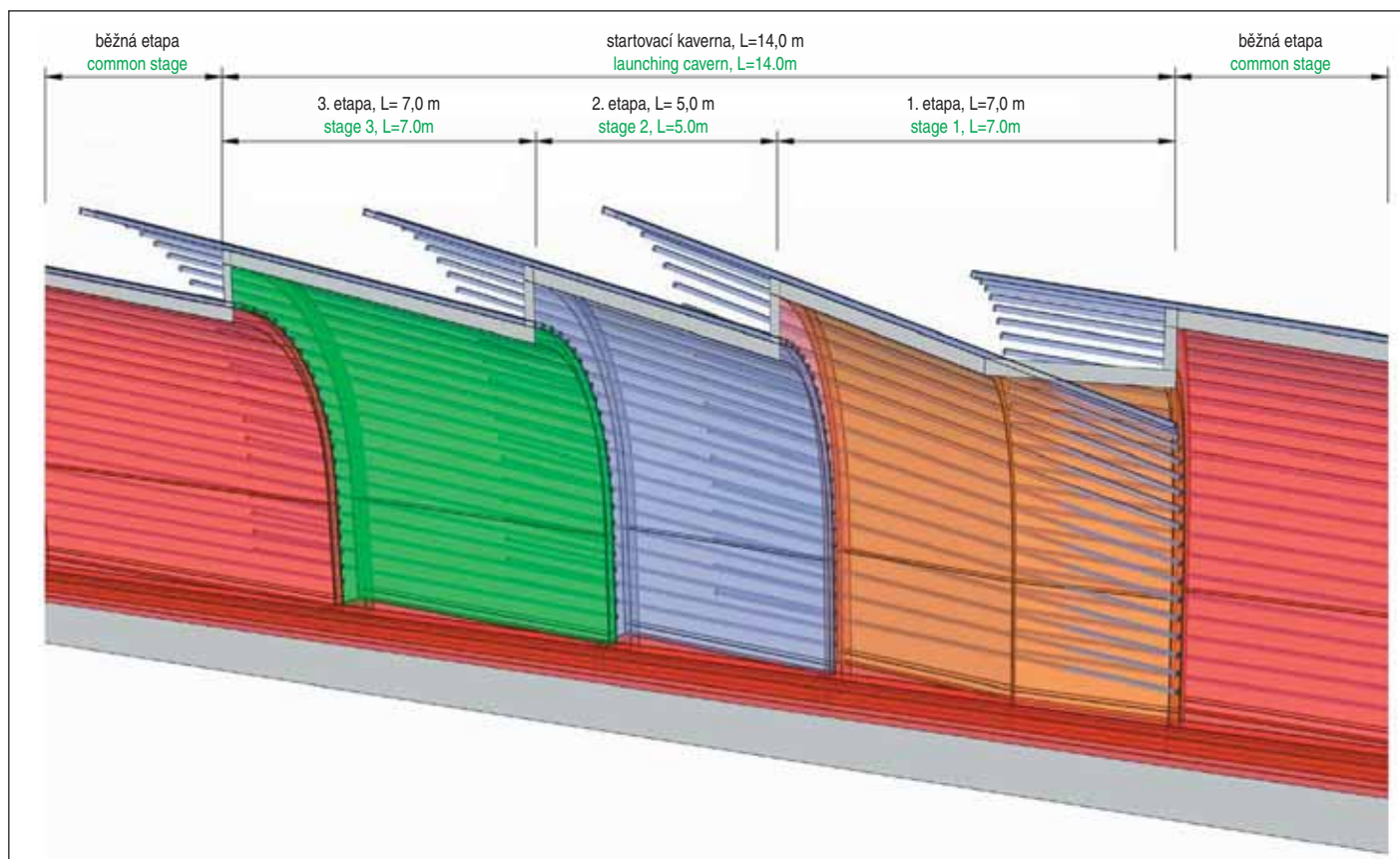
Chur portal	concrete NPK F: C30/37, XC4, XD3, XF2, Cl=0.1, $D_{max} = 32$ mm reinforcement B500B, $f_{sd} = 435$ N/mm ² concrete cover $c_{nom} \geq 55$ mm
stabilisation of construction pit for Chur portal	shotcrete SC11 C25/30, XF1 Cl = 0.2, $D_{max} = 8$ mm, J2 reinforcement welded steel mesh K 335 B500B nails maximum horizontal spacing = 1.5m Swiss-GEWI-rod Ø 20 incl. anchor plate 250 × 250 mm, steel S 500C
Arosa portal	secant bored pile wall concrete C20/25 Cl = 0.1, $D_{max} = 32$ mm, F5 diameter = 1.20m, overlaps 200 mm, $c_{nom} = 50$ mm reinforcement longitudinal rods Ø 22, concrete steel B500B spiral Ø 14, concrete steel B500B cover slab and bottom slab NPK F: C30/37, XC4, XD3, XF2, Cl=0.1, $D_{max} = 32$ mm reinforcement B500B, $f_{sd} = 435$ N/mm ² concrete cover $c_{nom} \geq 55$ mm
waterproofing	waterproofing system drainage mat: Sikaplan W Tundrain Type A waterproofing: Sikaplan WP 2110-21HL (thick 2mm) protective membrane: Sikaplan Protection Sheet-31H flexible circumferential textile grouting hoses at transition of the portal part and the mined tunnel.
natural stone masonry	jointing grout Röfix Creteo Gala CC 645 coarse

tunnel side walls after levelling the inner surface with shotcrete and will form support for the tunnel deck (see Fig. 12), which is designed, at the same time, to divert the existing local road. When excavating the construction pit between piles, it will be necessary to stabilise the front wall of the construction pit flush with the wall of the hotel (see Fig. 7). The front wall will be stabilised by a 400mm thick shotcrete layer and nails installed at 1.0m spacing. The waterproofing system will provide protection of the portal wall along the whole external side; the tunnel will be protected against intrusion of water only by a waterproofing membrane placed on the roof deck. Water collected in this way will be diverted to the external drainage system. Seepage through the pile walls will be collected by the inner drainage system installed at the base of the tunnel walls. Specifications of materials to be used for structures in portal areas are presented in Table 5.

Walls of both portals will be completely clad in natural stone masonry, in compliance with requirements of the Monument Care, as well as the internal vault on the Chur portal.

CONSTRUCTION STAGES

The construction stages and the operating regime of the Arosa tunnel reconstruction take into account the needs of the municipality of Arosa and the Arosa tourist society (first of all during winter months).



Obr. 13 Startovací kaverna ve středu tunelu

Fig. 13 Launching cavern in the middle of the tunnel length

Stěny obou portálů budou kompletně obloženy zdivem z přírodního kamene v souladu s požadavky památkové péče stejně tak jako vnitřní klenba na portálu Chur.

FÁZE VÝSTAVBY

Fáze výstavby a provozní režim rekonstrukce tunelu Arosa zohledňují potřeby obce Arosa a turistického sdružení Arosa (zejména v zimních měsících).

Projekt předpokládá větší část prací na rekonstrukci při zachování železničního provozu. K tomuto účelu se budou využívat především noční přestávky, ale také doba, která je mezi jednotlivými vlaky. Železniční provoz nesmí být stavenišťem narušen ani ohrožen. Kromě jiného bude třeba provádět důsledný geotechnický monitoring. Práce musí být dokončeny po každém pracovním intervalu tak, aby zaručovaly okamžitou bezpečnou provozuschopnost tunelu.

Hloubená část Chur leží mimo zastavěnou oblast a fáze výstavby nebudou ovlivněny jiným než vlakovým provozem. Zato hloubená část Arosa leží pod stávající místní komunikací, kde musí být zachován provoz a je z ní zároveň přístupný hotel „Haus am Wald“ založený přímo na tunelu. Pro tento úsek byl vypracován podrobný plán výstavby, který v sobě zahrnuje i pomocný most (obr. 11), který bude převádět dopravu v době otevření stavební jámy.

Noční přestávky v dopravě umožní provádět odstranění původního ostění a jeho náhradu primárním ostěním v délce pouze 1,0 m. Aby byl tento záběr dodržen, ale zároveň aby stavební práce netrvaly celkově příliš dlouho, je navržena uprostřed délky tunelu startovací kaverna (obr. 13), která umožní pracovat zároveň ze dvou stanovišť. Startovací kaverna vznikne strměji navrtanými třemi záběry (etapami) mikropilotových dešťníků, pod kterými vznikne dostatečný prostor pro ražbu zvětšeného profilu tunelu z prostoru stávajícího tunelu.

The design assumes that a larger proportion of the work on the reconstruction will be carried out without disruption to the railway operation. Night interruptions, but also the time between individual trains, will be used for this purpose. The railway operation must not be interrupted or endangered. Among other things, thorough geotechnical monitoring will be necessary. The work has to be completed after each work interval so that immediate tunnel operability is guaranteed.

The Chur cut-and-cover part lies outside the developed area and the construction phases will not be affected by other than train operations. On the other hand, the Arosa cut-and-cover part lies under the existing local road, where the operation has to be maintained, and “Haus am Wald” hotel, which is founded directly on the tunnel, is directly accessible from it. A detailed plan of construction has been developed for this section. It incorporates even an auxiliary bridge (see Fig. 11), which will divert transport during opening of the construction pit.

Night breaks in transport will allow for working on removing the original lining and replacing it with the primary lining along the length of only 1.0m. To maintain this advance round length and, at the same time, so that the construction work does not take too long, a launching cavern (see Fig. 13) is designed in the middle of the tunnel length, which will allow for working from two places concurrently. The launching cavern will originate by steeper drilling for three canopy tube pre-support blocks, under which a space suitable for the excavation of the enlarged tunnel profile from the space of the existing tunnel will originate.

AROSA PORTAL CONSTRUCTION STAGES AND TUNNEL EXCAVATION SUPPORT UNDER “HAUS AM WALD” HOTEL

1. Establishment of a temporary bridge in front of the portal and re-routing of transport, temporary relocations of networks.

FÁZE VÝSTAVBY PORTÁLU AROSA A ZAJIŠTĚNÍ VÝRUBU TUNELU POD HOTELEM „HAUS AM WALD“

1. Zřízení mostního provizoria před portálem a převedení dopravy, provizorní přeložky sítí.
2. Radiální injektáž okolí tunelu pod hotelem z prostoru tunelu přes stávající ostění.
3. Zhotovení převrtávaných pilot.
4. Odstranění vozovkových vrstev, výkop po horní hranu pilot.
5. Demolice stávajícího tunelu v prostoru pilotových stěn, výkop do hloubky 4,0 m od horní hrany pilot a zajištění horní části čelní stěny (u hotelu) stavební jámy stříkaným betonem a hřebíky.
6. Vrtání horní části mikropilotového deštníku pod hotelem pro zajištění klenby.
7. Bednění a betonáž stropní desky tunelu na pilotových stěnách.
8. Odstranění bednění stropní desky, výkop po spodní hranu desky dna a zajištění spodní části čelní stěny stavební jámy stříkaným betonem a hřebíky.
9. Betonáž desky dna, vrtání spodní části mikropilotového deštníku pod hotelem.
10. Zасыпání stropní desky, zrušení provizorních přeložek sítí, zhotovení vozovkových vrstev, zrušení mostního provizoria.
11. Zhotovení prvního žebra pod hotelem ze směru portálu Chur – slouží k podepření mikropilotového deštníku.
12. Zhotovení žeber pod základy hotelu a následně zhotovení zbylých žeber.
13. Demolice tunelu pod hotelem a zajištění výrubu pomocí primárního ostění.
14. Betonáž protiklenby a sekundárního ostění.
15. Rekonstrukce portálové stěny, instalace vybavení tunelu a demontáž zařízení staveniště.

ZÁVĚR

Projekt reprezentuje přístup společnosti Rhätische Bahn, která má ve své správě mnoho podobných tunelů, na jejichž některých rekonstrukcích se mohla společnost AMBERG Engineering Brno, a.s., projekčně úspěšně podílet. Na každý tunel je použita jiná technologie rekonstrukce, ale všechny mají několik společných pojmů. Vždy dochází ke zvětšení průjezdného profilu, tzn. k úplné demolici stávajícího ostění tunelu, trvalé vícedenní výluky jsou minimalizovány pouze na čas potřebný k výstavbě desky dna, resp. protiklenby při demontovaném svršku, a v neposlední řadě je vždy podmínkou zachování původního vzhledu kamenných portálových objektů.

Příprava rekonstrukce takových relativně krátkých tunelů probíhá od začátku projektu až po jeho poslední stupeň odhadem obvykle dva roky a takových tunelů opravuje tato lokální společnost dlouhodobě systematicky i více najednou.

Ač se jedná o zahraniční projekty, bylo při jejich realizacích získáno mnoho užitečných znalostí týkajících se nejen technického řešení, ale i použitých materiálů, z nichž některé byly již použity u obdobných tuzemských projektů.

Ing. LUMÍR KLIŠ,
lklis@amberg.cz,

Dipl.-Ing. ELISABETH SATTLEGGGER,
esattlegger@ambergengineering.com,

Ing. MÁRIA TARBAJOVÁ,
mtarbjova@amberg.cz,
AMBERG Engineering Brno, a.s.

Recenzoval *Reviewed:* Ing. Vladimír Prajzler

2. Radial grouting into the tunnel surroundings under the hotel, carried out from the tunnel space through the existing lining.
3. Carrying out secant bored piles.
4. Removal of roadway courses; excavation down to the upper edge of piles.
5. Demolition of the existing tunnel in the area of the pile walls, excavation down to the depth of 4.0m from the upper edge of the piles and stabilisation of the upper part of the front wall of the construction pit (at the hotel) with shotcrete and nails.
6. Drilling for the upper part of the canopy tube pre-support under the hotel for supporting the vault.
7. Formwork and concreting the tunnel roof deck resting on the pile walls.
8. Removing the roof deck formwork, excavation down to the lower edge of the bottom slab and stabilisation of the lower part of the front wall of the construction pit with shotcrete and nails.
9. Concreting the bottom slab, drilling for the lower part of the canopy tube pre-support under the hotel.
10. Backfilling over the roof deck, cancelling temporary relocations, carrying out roadway courses, cancelling the temporary bridge.
11. Construction of the first rib under the hotel (viewed from the Chur portal) – designed for supporting the canopy tube pre-support.
12. Construction of the ribs under the hotel foundations and, subsequently, construction of remaining ribs.
13. Demolition of the tunnel under the hotel and stabilisation of the excavation by means of the primary lining.
14. Concreting the invert and secondary lining.
15. Reconstruction of the portal wall, installation of tunnel equipment and dismantling the construction site facilities.

CONCLUSION

The projects represents the approach of the Rhätische Bahn company, which administrates many similar tunnels. AMBERG Engineering Brno, a.s., has successfully participated in designing for reconstructions of some of them. A different reconstruction technique has been used for each tunnel, but all of them have several common links. It is always required that the clearance profile is enlarged, which means that the existing lining of the tunnel has to be demolished, permanent several-day closures of tunnel operation are minimised only to the time necessary for the construction of the bottom slab, respectively invert (with the trackwork removed) and, at last but not least, there is always a condition that the original appearance of stone masonry portals of the objects is to be preserved.

The preparation of reconstruction of such relatively short tunnels from the project commencement to its last stage usually takes two years and this local company repairs systematically, in the long term, even more tunnels concurrently.

Although foreign projects are in question, a lot of useful knowledge concerning not only technical solutions but also the materials to be used, some of which have already been used in similar domestic projects, was gained during the work on them.

Ing. LUMÍR KLIŠ,
lklis@amberg.cz,

Dipl.-Ing. ELISABETH SATTLEGGGER,
esattlegger@ambergengineering.com,

Ing. MÁRIA TARBAJOVÁ,
mtarbjova@amberg.cz,

AMBERG Engineering Brno, a.s.

MAXIMÁLNÍ DOVOLENÁ RYCHLOST A JEJÍ VLIV NA ŘEŠENÍ DÁLNIČNÍHO TUNELU

MAXIMUM PERMISSIBLE SPEED AND ITS INFLUENCE ON MOTORWAY TUNNEL DESIGN

PAVEL PŘIBYL

ABSTRAKT

Článek upozorňuje na rozpor v normě pro projektování tunelů ČSN 73 7507, kde se konstatuje, že vozovka v tunelu je projektována na návrhovou rychlost okolních komunikací a zároveň se doporučuje maximální dovolená rychlost 80 km/h. ŘSD se rozhodlo tuto nesrovnalost napravit a zadalo zpracování metodiky přechodu na vyšší rychlost, a to z hlediska legislativy a nutnosti případných úprav stavebního řešení a technologií tunelu. Při volbě rychlosti je rozhodující kritérium, ke kterému se rychlost optimalizuje. Může to být dosažení maximální kapacity komunikace, ale i optimální bezpečnost provozu. Navržené řešení je založeno na harmonizaci dopravního proudu prostřednictvím proměnných dopravních značek v přístupové zóně k tunelu. Při úvahách o zvýšení rychlosti v dálničních tunelech bylo nutné odpovědět na základní otázku, jak souvisí rychlost se stavebním řešením tunelu. Maximální dovolená rychlost přímo souvisí s parametry kružnicových oblouků trasy. Vzhledem k tomu, že trasa musí být navržena podle normy pro projektování silnic a dálnic ČSN 73 6101, je v Metodice přechodu na vyšší rychlost v tunelech pozemních komunikací [1] navrženo, před změnou rychlosti, provést formální kontrolu dokumentace, zda oblouky odpovídají požadavkům normy.

ABSTRACT

The paper points out a contradiction of ČSN 73 7507 standard, where it is stated that the roadway in a tunnel is designed for design speed on roads outside the tunnel and, at the same time, it recommends the maximum permissible speed of 80km/h. The Road and Motorway Directorate of the CR decided to remove this contradiction and ordered elaboration of a methodology for transition to higher speed, both from the aspect of legislation and necessity for possible modification of the structural design of tunnel equipment. The criterion to which the speed is optimised is crucial when the speed is being chosen. It can reach the maximum capacity of the road, but also the optimum safety of operation. The proposed solution is based on harmonisation of traffic flow in the tunnel access zone by means of variable traffic signs. When considering increasing of speed in motorway tunnels, it was necessary to answer a basic question how speed is related to the structural design of a tunnel. Maximum permissible speed is directly related to parameters of circular curves on the alignment. With respect to the fact that the alignment has to be designed in compliance with ČSN 73 6101 standard on designing roads and motorways, it is proposed in the Methodology for transition to higher speed in road tunnels [1] that a formal check on documents is carried out whether the curves meet requirements of the standard prior to the change in the speed.

1. ÚVOD

Celosvětově neexistuje standard, doporučení nebo směrnice, jaký má být rychlostní limit v tunelech, Avšak platí, že rychlostní limit musí být vyznačen podle národní legislativy, která by měla být v souladu s Vídeňskou konvencí o dopravním značení z roku 1968. V naší republice ve smyslu zákona č. 361/2000 Sb., o provozu vozidel na pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů, se mluví o maximální dovolené rychlosti.

Při volbě maximální dovolené rychlosti v tunelech mýlily rozporné výroky v normě pro projektování tunelů ČSN 73 7507, kde se v kap. 6.1.1 konstatuje: „Tunely se navrhují na návrhovou rychlost přilehlých úseků pozemní komunikace“ a hned další věta zní: „Zpravidla se navrhuje 80 km/h, u tunelů s veřejným chodníkem 60 km/h“, což jsou vzájemně se vylučující tvrzení, protože návrhová rychlost dálnic byla do podzimu 2018 120 km/h. Od poslední revize normy ČSN 73 6101 [3] ze září 2018 je návrhová rychlost 130 km/h. ŘSD si bylo vědomo problému s nelogickým snižováním rychlosti na dálnici o 50 km/h, a proto bylo rozhodnuto rychlost z 80 km/h zvýšit [4]. K tomu zpracovala národní sekce ITA rozbor [5], který hlavně reflektoval výzkum provedený mezi členy výboru D.5 „Road Tunnel Operation“ mezinárodní silniční asociace PIARC. Na základě toho byl v říjnu 2019 realizován pilotní projekt úpravy maximální dovolené rychlosti v tunelu Valík

1. INTRODUCTION

No standard, recommendation or directive exists worldwide on the speed limit in tunnels, but it applies that the speed limit has to be marked in compliance with national legislation, which should comply with the Vienna Convention on Road Signs and Signals dated 1968. In the Czech Republic, we refer to maximum permissible speed in the meaning of the Law No. 361/2000 Coll. on Traffic in Road Tunnels in the version of later regulations.

When choosing the maximal speed in tunnels, there were misleading contradictory statements in ČSN 73 7507 standard on designing tunnels, where there is a statement in chapter 6.1.1: “Tunnels are designed for the design speed existing on adjacent road sections” and the next sentence states: “The speed of 80km/h is usually designed; for tunnels with a public walkway it is 60km/h”. The two statements are mutually exclusive because until the autumn of 2018, the design speed for motorways was 120km/h. Since the last review of ČSN 73 6101 standard [3] from September 2018, the design speed for motorways is 130km/h. The Road and Motorway Directorate of the CR was aware of the problem regarding the illogical reducing the speed in tunnels by 50km/h and for that reason, the decision was made that the speed of 80km/h would be increased [4]. For this purpose, the national section of the ITA prepared an analysis [5] which mainly reflected the research conducted among members of the committee D.5 “Road Tunnel Operation” of the PIARC international road association. Based on this, a pilot project on the

na 100 km/h. Ve stejném roce byla vypracována expertní zpráva „Metodika přechodu na vyšší rychlost v tunelech pozemních komunikací“ [1] (dále „Metodika“). Ta měla posoudit veškeré legislativní a technické otázky související se změnou maximální dovolené rychlosti. Proto je u tunelů projektovaných koncem roku 2018 nutno přezkoumat, na jakou návrhovou rychlost a jakou kategorii vozovky jsou navrženy. Pro vyloučení dalších chybných interpretací normy pro projektování tunelů je v Metodice formulován požadavek na úpravu normy ČSN 73 7507 v paragrafovém znění.

2. ZÁVĚRY Z ANALÝZY ZAHRANIČNÍCH ZKUŠENOSTÍ

Z analýzy odpovědí členů výboru D.5 vyplývá, že při hledání rychlostních limitů se většina zemí kloní k rychlosti, která odpovídá rychlosti na volné komunikaci, při zachování šířky jízdního pruhu. Vždy je nutné postupovat logicky a nelze najít jednoznačné řešení. Často je nutné z různých důvodů hledat kompromis. Maximální dovolenou rychlost je možné optimalizovat z následujících hledisek.

2.1 Dovolená rychlost z hlediska kapacity

Nejvyšší kapacita komunikace leží v oblasti rychlosti 70–80 km/h. Modely rychlost v – hustota dopravního proudu, které podporují toto tvrzení měřením, jsou známy již od 30. let minulého století (viz Greenshieldův model dopravy).

Výše uvedená Metodika zdůrazňuje logiku, že městské a příměstské tunely jsou konstruovány a postaveny spíše pro realizaci dopravní kapacity než pro rychlost. V Rakousku a Švýcarsku se využívají pro snižování rychlosti proměnné dopravní značky (PDZ), pokud stoupá intenzita vozidel, aby se zvýšila kapacita tunelu. Stejně možnosti dynamické změny rychlosti poskytuje i navržené řešení.

2.2 Dovolená rychlost z hlediska bezpečnosti

Dlouhodobé statistiky PIARC ukazují, že značné množství nehod v tunelech (cca 30 %) vzniká kvůli nestabilnímu dopravnímu proudu a rozdílům v rychlosti mezi vozidly. Proto navržené řešení vychází z potřeby harmonizovat dopravní proud ještě před vstupem do tunelu. Jak vyplývá z dalšího textu, je nutné u každého silničního tunelu při volbě rychlosti vzít v potaz i další parametry trasy, mající vliv na bezpečnost, viz kapitola 3.

2.3 Dovolená rychlost z hlediska prostorového řešení

V Nizozemsku připravují dálniční tunel pro návrhovou a dovolenou rychlost 80 km/h. Souvisí to s požadavkem realizovat tunel v omezeném prostoru a v užším profilu. Použití nižších rychlostí usnadní realizovat tunel v daném prostoru a stále ještě zaručit bezpečný provoz. Tunel bude vybaven nejmodernějšími technologiemi pro omezení následků potenciálních nehod a požáru.

3. ZMĚNA RYCHLOSTI A STAVEBNÍ ŘEŠENÍ

Při úvahách o zvýšení rychlosti v dálničních tunelech bylo nutné odpovědět na tři základní otázky související se stavebními prvky a stavebním řešením tunelu:

1. Jaké parametry komunikace v tunelu bude nutné měnit se změnou rychlosti? Maximální dovolená rychlost souvisí hlavně s poloměry kružnicových směrových oblouků, tedy horizontálním vedením trasy, částečně i s vertikálním vedením trasy z hlediska zlomů nivelety, což není tak kritické, protože Direktiva 54/2004/ES připouští sklonky pouze do max. 3 %.

modification of maximum permissible speed in the Valík tunnel to 100km/h was implemented in October 2019. The expert report “*Methodology for transition to higher speed in road tunnels*” [1] (hereinafter referred to as “the Methodology”) was prepared in the same year. It was to assess all legislative and technical issues connected with the change in the maximum permissible speed in tunnels. For that reason it is necessary to review which design speed and which roadway category are designed for tunnels designed at the end of 2018. In order to exclude other erroneous interpretations of the standard for tunnel design, a requirement for modifying the standard ČSN 73 7507 in the paragraph wording is formulated in the Methodology.

2. CONCLUSIONS FROM THE ANALYSIS OF FOREIGN EXPERIENCE

It follows from the analysis of answers of members of the D.5 committee that when looking for speed limits, most countries lean towards a speed that corresponds to the speed on an open road, with the lane width maintained. It is always necessary to proceed logically and it is not possible to find an unambiguous solution. It is often necessary to seek a compromise. It is possible to optimise the maximum permissible speed from the following points of view:

2.1 Maximal speed in terms of capacity

The highest capacity of a road lies within the speed range of 70–80km/h. Speed v – traffic flow density models supporting this assertion by measurements have been known since the 1930s (see Greenshield’s Model of traffic flow).

The above Methodology emphasises the logic that urban and suburban tunnels are designed and constructed rather for realisation of transport capacity rather than speed. In Austria and Switzerland, variable traffic signs are used for reducing the speed when the traffic volume grows, so that the tunnel capacity increases. The same possibilities of dynamic speed changes are provided even by the proposed solution.

2.2 Maximal speed in terms of safety

PIARC’s long-term statistics show that a considerable number of accidents in tunnels (ca 30%) occurs due to instable traffic flow and differences in speed between vehicles. For that reason the proposed solution is based on the need for harmonisation of the traffic flow as early as before entering the tunnel as possible. As it follows from the following text, it is necessary for each road tunnel when choosing the speed to take into consideration even other parameters of the alignment affecting the safety, see Chapter 3.

2.3 Maximal speed in terms of spatial solution

In the Netherlands, a motorway tunnel is being prepared for the design speed and permissible speed of 80km/h. This is related to the requirement for construction of a tunnel in a limited space and a narrower profile. The use of lower speeds will make it easier to construct the tunnel in the space available and still guarantee safe operation. The tunnel will be equipped with the latest facilities for reducing the consequences of potential accidents and fires.

3. CHANGE IN SPEED AND STRUCTURAL SOLUTION

When increasing of speed in motorway tunnels was under consideration, it was necessary to answer three fundamental questions connected with structural elements of the tunnel and its structural solution:

1. Which parameters of a road in a tunnel will have to be changed along with the change of speed? Maximum permissible speed is mainly related to the radii of circular directional curves, i.e. the horizontal alignment of the route, partially even the vertical alignment of the route as far as alignment breaks

2. Bude nutné měnit parametry související s bezpečnostními stavebními prvky? Důvodem obav byla tragédie v tunelu Sierre, kdy 13. 3. 2012 nárazem autobusu do stěny nouzového zálivu zahynulo 28 lidí.
3. Existují nějaké další, u nás zatím nepoužívané stavební úpravy zvyšující bezpečnost v tunelu?

Odpověď na první otázku řeší následující věta z normy ČSN 73 7507 [6]: „*Tunely se navrhují na návrhovou rychlost (v_n) přilehlých úseků pozemní komunikace, což znamená, že komunikace v tunelu je pokračováním volné komunikace před tunelem a platí pro ni stejná norma.*“ Návrhovou rychlost a její vliv na parametry komunikace řeší v detailu norma ČSN 73 6101, kde je řešeno prostorové vedení trasy.

Odpověď na druhou otázku, která se týká podle ČSN 73 7507 nouzových pruhů, nouzových zálivů, otáčecích zálivů a únikových cest v tunelu, je následující. Jediné nepodstatné úpravy se týkají pouze nouzových zálivů s tím, že:

- a) Nouzové zálivy budou provedeny podle ČSN 73 7507, přičemž sešikmení zadní strany zálivu musí odpovídat minimálně požadavkům normy a poměru sešikmení nejméně 2:1.
- b) Nouzový záliv bude vymalován jasnou světlou barvou.
- c) Striktním požadavkem je, aby na zadní stěně zálivu, ve směru jízdy, byla značka A22 „Jiné nebezpečí“ v reflexním provedení, podobně to řeší ve Francii značkou J13.
- d) U tunelů delších než 1 km bude, podle doporučení PIARC, jasněji osvětlen výklenek ležící přibližně uprostřed tunelu, aby oživil monotónnost jízdy. Úroveň jasu bude dvojnásobná proti jasu vnitřního pásma.
- e) Nouzové zálivy budou zvýrazněny ve smyslu doporučení PIARC značkami označujícími záliv.

Odpověď na třetí otázku je následující: Je prokázáno, že řada nehod vzniká po kontaktu pneumatiky s vysokým obrubníkem nouzových chodníků. Proto je v [1] požadována změna normy 75 7307 a snížení obrubníků na 3 cm, jak je to běžné v řadě zemí, přičemž, jak tvrdí PIARC, ani vyšší obrubníky spolehlivě neochrání chodce na chodníku.

3.1 Tragédie v tunelu Sierre a reakce evropských zemí

Dosud se naštěstí staly pouze dvě velké katastrofy v silničních tunelech. První byl velký požár 24. 3. 1999 v tunelu Mont Blanc, kde zahynulo 39 lidí. V důsledku této události se změnil významně náhled na bezpečnost v tunelech pozemních komunikací. V Evropě to vedlo k přijetí direktivy 54/2004/EC Evropského parlamentu a rady o minimálních bezpečnostních požadavcích na tunely transevropské silniční sítě. Druhá tragická nehoda se stala 13. 3. 2012 ve švýcarském tunelu Sierre v kantonu Valois. Toho dne autobus směřující do Belgie, vezoucí školáky s doprovodem z lyžařské dovolené zpátky do Belgie, narazil v plné rychlosti do zadní kolmé stěny nouzového zálivu, 28 lidí z 52 lidí v autobusu zahynulo, včetně 22 dětí. Tato tragédie jasně ukázala, jaké nebezpečí představují kolmé překážky v tunelu.

Bezprostředně po této události se sešel technický výbor D.5 „Road Tunnel Operation PIARC“ a rozhodl zpracovat strategický dokument věnovaný kolmým překážkám v tunelu. Po dvou letech vydal dokument „Lay bays and protection against lateral obstacles“ (Nouzové zálivy a ochrana proti postranním překážkám) [7]. V Metodice jsou uvedena některá opatření zemí, která byla předmětem této diskuse. Francie uspořádala na toto téma i specializovaný seminář 2. října 2013 na CETU v Lyonu, kde bylo docíleno přijetí následujících závěrů odsouhlasených většinou zemí, členů PIARC:

are concerned, which is not so critical because the Directive 54/2004/ES permits gradients up to the maximum of 3%.

2. Will it be necessary to change parameters related to structural safety elements? The reason for the concerns followed from the tragedy in the Sierre tunnel on 13th March 2012, when 28 people died when a coach crashed into the lateral wall of an emergency lay-by.
3. Are there any other construction modifications not yet used in the Czech Republic that increase tunnel safety?
4. The answer to the first question is solved by the following sentence from ČSN 73 7507 standard [6]: “*Tunnels are designed for design speed (v_n) on adjacent sections of the road, which means that the road inside the tunnel is a continuation of the open road in front of the tunnel and the same standard applies to it.*” The design speed and its influence on road parameters are solved in detail by ČSN 73 6101 standard, where the spatial design is dealt with.

The answer to the second question, which concerns emergency lanes, emergency lay-bys, turning bays and escape routes according to ČSN 73 7507 standard, is as follows. The only insignificant modifications related to emergency lay-bys provided that:

- a) The emergency lay-bys will be carried out in compliance with ČSN 73 7507 standard, while tapering of the rear (“downflow”) side of the lay-by has at least to correspond to requirements of the standard and the tapering ratio of at least 2:1.
- b) The emergency lay-by will be painted in a bright light colour.
- c) A strict requirement is that sign A22 “Other Dangers” with a reflective finish is on the rear (“downflow”) wall of the lay-by; France solves it similarly by sign J13.
- d) For tunnels longer than 1km, according to the PIARC recommendation, the lay-by located approximately in the middle of the tunnel will be more brightly lit to revive the monotony of the ride. The luminance level will be twice the luminance in the inner zone.
- e) Emergency lay-bys will be emphasised in the meaning of the PIARC recommendation by lay-by signs.

The answer to the third question is as follows: It has been proven that many accidents originate after the tyre comes into contact with the high kerb of the emergency walkway. For that reason a change of ČSN 75 7307 standard and lowering of kerbs to 3cm is required [1], as it is common in many countries and, according to the PIARC, even higher kerbs do not reliably protect pedestrians on the walkways.

3.1 Tragedy in the Sierre tunnel and response of European countries

Fortunately, only two major catastrophes have happened so far in road tunnels. The first was a large fire in the Mont Blanc tunnel on 24th March 1999, where 39 people died. As a result of this event, the opinion on safety in road tunnels has changed significantly. In Europe, it led to the adoption of Directive 54/2004/EC of the European Parliament and of the Council on minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network. The second tragic accident happened in the Swiss canton of Valois on 13th March 2012. That day, a coach heading to Belgium, carrying schoolchildren and accompanying persons from a ski holiday back to Belgium, crashed at full speed into the rear (downflow) lateral wall of the emergency lay-by; 28 of the 52 people in the coach died, including 22 children. This tragedy has clearly shown the danger posed by lateral obstacles in tunnels.

Immediately after this event, Technical Committee D.5 “Road Tunnel Operation PIARC” met and decided to prepare a strategic document dedicated to lateral obstacles in tunnels. Two years later, it issued the document “Lay bys and protection against lateral obstacles” [7]. Some measures which were subjects of this discussion

- Země, které mají v tunelech nouzové zálivy, je považují za relevantní příspěvek k tunelové bezpečnosti.
- Tyto zálivy umožní nouzové odstavení vozidla, aniž by to vyvolalo krizovou situaci.
- Zálivy také usnadňují údržbové práce.
- Nouzové zálivy jsou velmi užitečné v obousměrných tunelech, kde zastavení vozidla vyvolá potenciálně nebezpečnou situaci, protože je objížďeno do protisměru.
- Pro každý existující tunel musí být provedena specializovaná studie zaměřená na nouzové zálivy a další možné kolmé překážky. Pro zmenšení následků střetu s kolmou stěnou nouzového zálivu se používají hlavně dva prostředky – tlumiče nárazu a kovová či betonová svodidla.
- Dalším závěrem je i doporučení na zdůraznění místa nouzových zálivů.

3.2 Rychlost a její vliv na parametry komunikace

Komunikace v tunelu je vlastně pokračováním komunikace před tunelem a platí pro ni norma ČSN 73 6101. Projektant tunelu tedy ručí za to, že byla tato norma respektována. Norma předepisuje rozšiřování jízdního pruhu ve směrových obloucích a dostředný sklon. Při podrobné analýze zahraniční literatury se ukázalo, že s vyšší rychlostí je spojena problematika zajištění minimálních poloměrů směrových oblouků. Ty jsou v zásadě navrhovány na základě dvou konceptů:

1. Koncept rovnováhy. V principu se jedná o dosažení rovnováhy mezi odstředivou silou a bočním faktorem tření modifikovaným pro silniční tunely. V podstatě jde o to, aby se vozidlo udrželo v ose jízdního pruhu a nebylo vytlačováno odstředivou silou na okraj pruhu (centrifugální jev). Lze předpokládat, že projektanti trasy v tunelech pracují s normou ČSN 73 6101, kde jsou v tab. 9 uvedeny nejmenší dovolené poloměry ve vztahu k uvažované rychlosti a dostřednému sklonu pro základní příčný sklon 2,5 %.

2. Koncept vycházející z délky rozhledu pro zastavení podél směrového oblouku, pro tři alternativy polohy řidiče ve vnitřním jízdním pruhu v závislosti na levém či pravém oblouku. Poloha řidiče (levá nebo pravá strana oblouku) má značný dopad na návrhové hodnoty poloměru směrového oblouku. Rozdíl se zvyšuje s rostoucí návrhovou rychlostí.

Sub 1: Poloměr směrových oblouků z hlediska odstředivé síly. V tomto případě je nutné se plně řídit normou ČSN 73 6101.

Sub 2: Poloměr směrových oblouků z hlediska délky rozhledu pro zastavení.

Zatímco původní ČSN 73 6101 výslovně nepožaduje v tunelech směrově rozdělených kontrolovat délku rozhledu pro zastavení, verze ze září 2018 stanovuje poloměry kružnicových oblouků, zajišťujících délku rozhledu pro zastavení, pouze podle kategorijských typů komunikace. K tomu je v tab. 7 normy uvedena návrhová rychlost pro každou kategorii silnic a dálnic.

Pozn. autora: Přístup v nové normě nepovažuji za zcela korektní. Protože délka rozhledu pro zastavení na dálnici se svodidly může být jiná, než délka rozhledu v tunelu, kde rozhled omezuje plná stěna tunelu. Přesto nechci situaci komplikovat a spokojíme se s kontrolou minimálních poloměrů podle kategorijského typu komunikace, jak je uvedeno v nové normě, viz 2. krok v obrázku 1. K tomuto rozhodnutí mne vede i požadavek původní normy, který kontrolu v tunelech směrově rozdělených nevyžadoval.

3.3 Závěr ke stavebnímu provedení

Základní kontrolou, která musí být provedena vždy před změnou rychlosti, je ověření, na jakou návrhovou rychlost byl tunel projektován. Zásadní je také vědět, o jaký kategorijský typ

are mentioned in the Methodology. France organised a specialised seminar on this theme at the CETU in Lyon on 2nd October 2013, where the following conclusions were achieved and approved by the majority of the PIARC member countries:

- Countries having emergency lay-bys in tunnels consider them to be a relevant contribution to safety in tunnels.
- The lay-bys will allow only for break-down parking of vehicles, without causing a crisis situation.
- The lay-bys in addition facilitate maintenance operations.
- The lay-bys are very useful in bidirectional tunnels, where stopping of a vehicle causes a potentially dangerous situation because the stopped vehicle is bypassed into the opposite traffic direction.
- A specialised study focused on emergency lay-bys and other possible lateral obstacles has to be conducted for each existing tunnel. Two means of reducing the consequences of a collision with a lateral wall of an emergency lay-by are mainly used – impact absorbers and metallic or concrete crash barriers.
- Another conclusion is also the recommendation for highlighting the locations of emergency lay-bys.

3.2 Speed and its influence on parameters

The road in a tunnel is actually a continuation of the open road in front of the tunnel and standard ČSN 73 6101 applies to it. The tunnel designer therefore guarantees that this standard has been respected. The standard prescribes extension of width of traffic lanes on directional curves and the concentric incline (superelevation). A detailed analysis of foreign literature showed that problems of securing minimum radii of directional curves are associated with a higher speed. The curves are basically designed on the basis of two concepts:

1. Balance concept. In principle, it is a matter of achieving a balance between the centripetal force and the lateral friction factor modified for road tunnels. Basically, it is a matter of keeping the vehicle on the centre line of the lane without pushing it to the edge of the lane by centripetal force (centripetal phenomenon). It can be assumed that the designers of the road in the tunnels work with the standard ČSN 73 6101, where smallest permitted radii in relation to the speed being considered and the centripetal gradient for the basic transverse incline (superelevation) of 2.5% are presented in Table 9.

2. The concept based on the sight distance for stopping along the directional curve for three alternatives of driver's position in the inner traffic lane, depending on the left-hand or right-hand curve. The position of the driver (left-hand or right-hand side of the curve) has a significant impact on the design values of the radius of the directional curve.

Sub 1: Radius of directional curves in term of centripetal force. In this case it is necessary to fully comply with ČSN 73 6101 standard.

Sub 2: Radius of directional curves in terms of the stopping sight distance.

Whilst the original ČSN 73 6101 does not explicitly request that the stopping sight distance in tunnels with dual carriageway is to be checked, the version from September 2018 determines the radii of circular curves securing the stopping sight distance only according to road type categories. The design speed for each category of roads and motorways is added to it in Table 7.

Author's note: I do not consider the approach in the new standard to be fully correct. Because the stopping sight distance on a highway with crash barriers may be different from the stopping sight distance in a tunnel where the sight distance is restricted by a full wall of the tunnel. Nevertheless, I do not want to complicate the situation and we will content ourselves with checking the minimum radii according to the road type categories, as stated in the new standard, see step 2 in Fig. 1. I am also led to this decision by the requirement of the

komunikace se jedná. Na podzim roku 2018 byla norma pro projektování dálnic revidována a dálnice má nově návrhovou rychlost 130 km/h, předtím byla návrhová rychlost 120 km/h. Při kontrole dokumentace tunelu je nutné jednoznačně znát, podle které verze normy 73 6101 projektant pracoval. Dokumentace se kontroluje ve třech krocích popsanych dále. Při změně rychlosti je nutné ověřit, zda vyhovují minimální poloměry z hlediska (a) odstředivé síly a (b) z hlediska délky rozhledu pro zastavení.

Stavební úpravy se v tunelu nebudou provádět, neboť se předpokládá, že horizontální i vertikální vedení trasy odpovídá dokumentaci. Pro zamezení případných soudních sporů po nehodách bude provedena formální kontrola dokumentace a její shody s normou ve třech krocích (obr. 1):

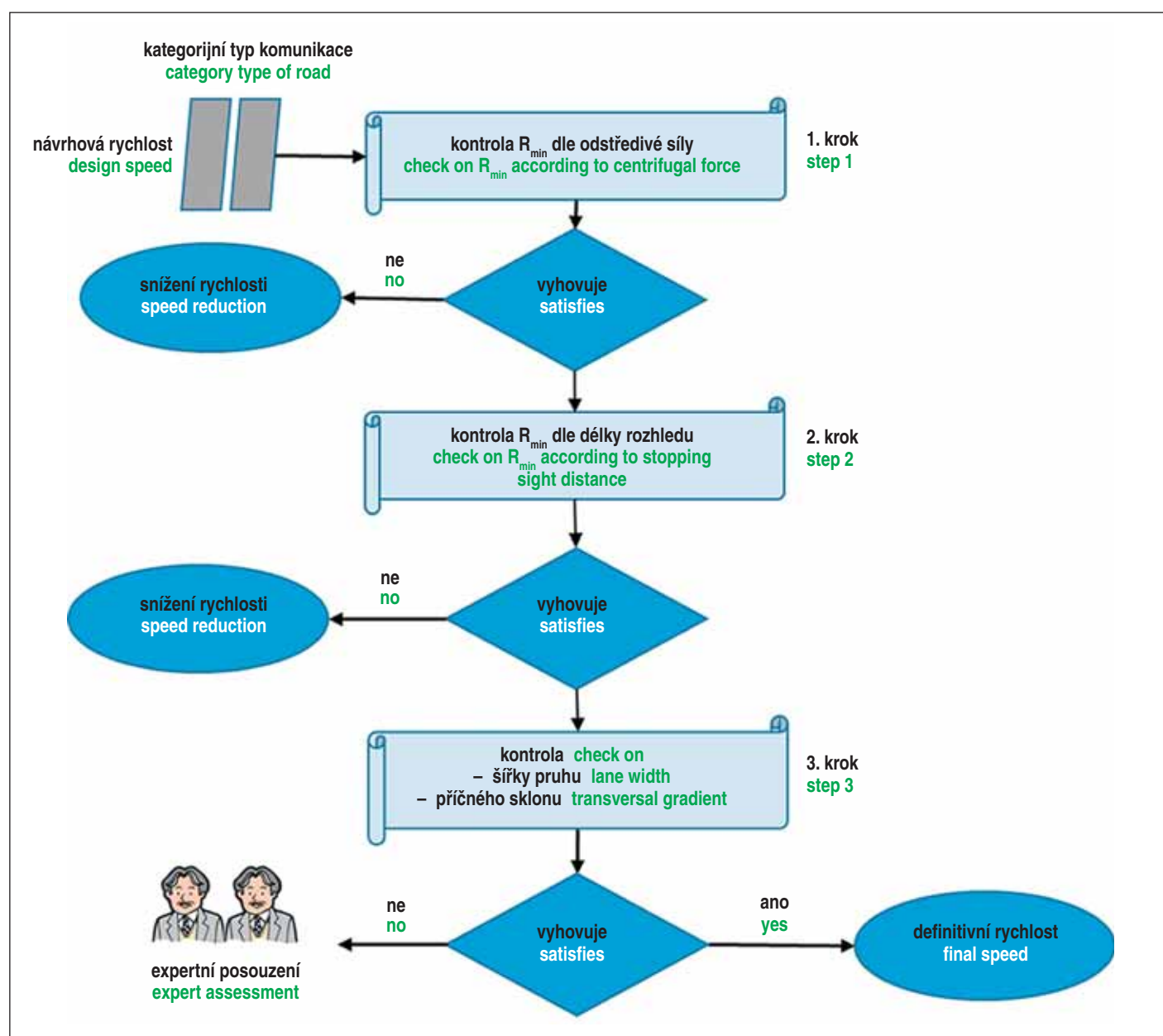
1. krok: Kontrola minimálních poloměrů směrových kružnicových oblouků z hlediska odstředivé síly. Nejmenší dovolené poloměry kružnicových oblouků pro návrhovou rychlost a dostředný sklon jsou dány v tab. 9 normy ČSN 73 6101. Pokud minimální poloměr nevyhoví, je nutné snížit maximální dovolenou rychlost oproti návrhové rychlosti. Pokud poloměry vyhoví, přistoupí se ke 2. kroku,

original standard, which did not require inspection in directionally divided tunnels.

3.3 Conclusion about structural design

The basic check which has to be conducted always before a change of speed is the verification for which design speed the tunnel was designed. It is also essential to know what category of road it is. In the autumn of 2018, the standard for designing motorways was reviewed and the motorway has newly the design speed of 130km/h; before that, motorways were designed for design speed of 120km/h. When checking the tunnel documentation, it is necessary to know clearly according to which version of ČSN 73 6101 standard the designer worked. Documentation is checked in the below described three steps. When changing the speed it is necessary to verify whether the minimum radii are suitable in terms of (a) centripetal force and (b) stopping sight distance.

Construction work will not be carried out in the tunnel because it is assumed that the horizontal and vertical alignment of the route correspond to the documentation. To prevent possible litigation after accidents, the formal checking on the documentation and its



Obr. 1 Blokové schéma kontroly stavebního řešení a realizace úprav rychlosti

Fig. 1 Block diagram of checking on structural solution and implementation of speed modifications

kdy se kontrolují minimální poloměry oblouků zajišťující délku rozhledu pro zastavení.

2. krok: Kontrola minimálních poloměrů zajišťujících délku rozhledu pro zastavení. Provádí se dle tab. 7 a 10 normy. Pokud poloměry vyhoví, pokračuje se třetím krokem. Pokud minimální poloměr nevyhoví, je nutné snížit maximální dovolenou rychlost oproti návrhové rychlosti.

3. krok: Kontroluje se příčný sklon a šířka pruhu v oblouku. Pokud tyto parametry nedosahují požadavků normy, hrozí nebezpečí centrifugálního efektu, vynášení vozidel vlivem odstředivé síly. Pak je nutné získat stanovisko expertů jaká rychlost je ještě bezpečná z hlediska odstředivé síly.

Teprve po stanovení definitivní maximální dovolené rychlosti ze stavebního řešení má význam přikročit k úpravám projektů technologických souborů podle navrhované rychlosti.

3.3.1 Stavební řešení, doporučení – nouzové zálivy

Obecné závěry, které formuloval PIARC ke kolmým překážkám, na základě konsenzu mnoha zemí, jsou uvedeny výše. Vyplyvá z nich, že každý tunel má být znovu prověřen z hlediska kolmých překážek. V literatuře [7] jsou uvedeny příklady řešení z Itálie, Španělska atd. Pokud se týká nouzových zálivů a kolmých překážek, je v první řadě nutné zabránit tomu, aby vektor síly, do kterého se transformuje kinetická energie nárazu, působil v ose vozidla deformaci. Naopak je nutno tento vektor rozložit i na složku směřující ve směru jízdy. K tomu se využívá šikmo umístěných svodidel nebo šikmo orientované stěny výklenku. Situaci znázorňuje obr. 2. Z fyziky je zřejmé, že čím šikmější je svodidlo, tím více kinetické energie se odvede směrem do vozovky.

Norma ČSN nemá okótované rozměry nouzových výklenků, pouze čistou délku, která je 40 m a dále je uveden poměr 2:1, což znamená, že zešíkmení jde od dvojnásobné šířky výklenku, tedy od 6 m.

Úhel α v obr. 2 by měl být co nejostřejší. V tomto případě je 37° , což je mírně větší úhel, a tedy horší účinnost než v Itálii a ve Španělsku, kde používají šikmější kovová svodidla. Z vyspělých tunelových zemí má Francie ještě menší úhel sešíkmení, který je 45° . Naopak nejostřejší úhel, jen 8° mají v Norsku. Zmenšování úhlu i v ČR by znamenalo zmenšovat plochu pro odstavení vozidel na úkor šikmé zadní stěny, a proto je řešení v normě považováno za ještě dostatečné, byť je nutné dlouhodobě sledovat statistiky nehod s výklenkem a jejich následky.

PIARC doporučuje řešit z hlediska nárazu i portál tunelu, který je také kolmou překážkou, o čemž svědčí nehoda se smrtelnými následky v Lochkovském tunelu. Osazování svodidel jako ochrany před pevnou překážkou řeší norma ČSN 73 6101, kde jsou přímo vyjmenovány opěrné zdi, propustky a podjezdy. Portály tunelů tam jmenovitě uvedeny nejsou, ale tento požadavek je oprávněný a musí být zahrnut do revize ČSN 73 7507.

compliance with the standard will be conducted in three steps (see Fig. 1):

Step 1: Checking on minimum radii of directional circular curves in terms of centripetal force. The smallest permissible radii of circular curves for the design speed and the concentric gradient (superelevation) are given in Table 9 of ČSN 73 6101 standard. If the minimum radius does not meet the standard, it is necessary to reduce the maximum permissible speed in comparison with the design speed. If the radii meet the standard, step 2 is taken, where minimum radii of curves securing the stopping distance are checked.

Step 2: Checking on minimum radii securing the stopping sight distance. It is conducted according to Table 7 and 10 of the standard. If the radii meet the requirements, checking proceeds to the third step. If the minimum radius does not meet the requirements, it is necessary to reduce the maximum permissible speed in comparison with the design speed.

Step 3: The concentric gradient (superelevation) and the width of lane on the curve are checked. If these parameters do not meet the requirements of the standard, there is a risk of a centripetal effect of pushing vehicles towards the external edge of the curve. Then it is necessary to obtain the opinion of experts as to what speed is still safe in terms of centripetal force.

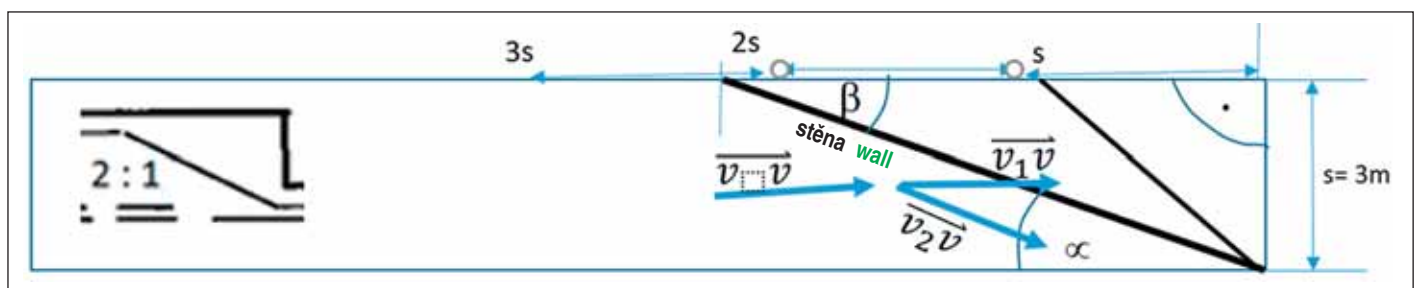
Only after determining the final maximum permissible speed on the basis of the structural design is it reasonable to proceed to modifications of designs for tunnel equipment according to the proposed speed.

3.3.1 Structural design, recommendations – emergency lay-bys

The general conclusions formulated by PIARC on lateral obstacles on the basis of consent of many countries are presented above. It follows from them that each tunnel has to be again checked in terms of lateral obstacles. Examples of solutions from Italy, Spain etc. are presented in References [7]. As far as emergency lay-bys and lateral obstacles are concerned, it is first necessary to prevent the force vector into which the kinetic energy of the impact is transformed from causing deformation along the vehicle axis. On the contrary, it is necessary to decompose this vector even into a component pointing in the direction of travel. Obliquely installed barriers or obliquely oriented rear (“downflow”) walls of the niche are used for this purpose. The ground plan is presented in Fig. 2. It is obvious from physics that the more oblique crash barrier the more kinetic energy is deflected in the direction into the roadway.

In our standard the dimensions of emergency niches are not filled. It shows only the net length (40m) and the ratio 2:1, which means that tapering begins from the double width of the niche, i.e. from 6m.

Angle α in Fig. 2 should be as acute as possible. In our case it is equal to 37° , which is a moderately greater angle and therefore effectiveness is worse than in Italy and Spain, where more oblique metallic crash barriers are used. Of the developed tunnel construction countries, France has a smaller angle of tapering, which is equal to 45° . On the contrary, the most acute angle of mere 8° is used in Norway. Reducing the angle even in the Czech Republic would



Obr. 2 Tvar nouzového zálivu podle ČSN 73 7507

Fig. 2 Shape of emergency lay-by according to ČSN 73 7507

4. ÚVAHA K MAXIMÁLNÍ DOVOLENÉ RYCHLOSTI V DÁLNIČNÍCH TUNELECH

Při volbě maximální dovolené rychlosti je vždy nutné volit kompromis. V zásadě je možné se pohybovat od současných 80 km/h, teoreticky až po maximální dovolenou rychlost na dálnici, která je dnes 130 km/h. Při volbě rychlosti byl hledán kompromis mezi schopností tunelu plnit svou dopravní funkci, tedy přenesení potřebného množství vozidel mezi portály, a maximalizovanou bezpečností. Plnění dopravní funkce znamená, že tunel má dostatečnou kapacitu, přičemž doba jízdy není rozhodující parametr, hlavně musí být jízda plynulá. Rozdíl doby jízdy v kilometrovém tunelu mezi rychlostí 100 a 130 km/h je pouze 9 s, což v celkové době jízdy po dálnici nehraje žádnou roli. Hledisko bezpečnosti bylo tedy na prvním místě při návrhu maximální dovolené rychlosti. S přihlédnutím k rovnici (1) udávající poměr smrtelných nehod vzhledem k rychlosti je vhodné volit rychlost nižší, než je dovolená rychlost na dálnici, aby se snížily smrtelné následky z čelních nárazů. Výbor D.5 „Road tunnel Operation“ PIARC vypracoval rozsáhlý dokument [2] „Prevention and mitigation tunnel related collisions!“. Dokument se zabývá všemi druhy nehod, které souvisí s tunelem, výstupy a závěry čerpá z databáze poskytnuté členskými státy pro silniční tunely. Jedním z výsledků je, že cca 30 % nehod v tunelech je dáno předozadními kolizemi. Navržená rychlost 100 km/h je tedy kompromisem.

Pokud by byla rychlost v oblasti 80–90 km/h, znamenalo by to skokové snižování rychlosti z maximální dovolené rychlosti 130 km/h na dovolenou rychlost a s tím vznik nestabilního dopravního proudu na vstupu do tunelu.

Asi třetina nehod v tunelu je podle PIARC [7] zapříčiněna předozadními nárazy, a tedy rozdíly v rychlosti mezi vozidly. Snižování počtu nehod se dá dosáhnout stabilizací dopravního toku již před vjezdem do tunelu. Z těchto důvodů je použit princip liniového řízení, který snižuje rychlost ve dvou krocích a omezuje předjíždění pro nákladní vozidla. Nejprve se rychlost omezí na 120 km/h statickou značkou cca 500 m před tunelem a značkou B22a se zakáže předjíždění pro nákladní vozidla. V dalším kroku se v příjezdové zóně dlouhé cca 280 m přejde na 100 km/h pomocí PDZ, aby nebylo nutné překotně brzdit u tunelu. Před vjezdovým portálem tunelu se tato informace opakuje.

4.1 Výhody volby rychlosti 100 km/h

1. Navržená rychlost se blíží maximální dovolené rychlosti na dálnici a doba jízdy v tunelu je nižší řádově jen o několik sekund oproti 130 km/h v tunelech střední délky.
2. Počet smrtelných nehod při 100 km/h a čelních kolizích klesne o 49 % oproti rychlosti 130 km/h. Snižování rychlosti o 10 km/h 500 m před tunelem značkou B20a“120 nevnese nestabilitu do dopravního proudu. Ten je naopak stabilizován další značkou B20a“100 v příjezdové zóně tunelu a rychlost 100 km/h je připomenuta ještě těsně před vjezdem do tunelu prostřednictvím PDZ, které jsou vždy ve standardním vybavení tunelu, viz tab. 3–4 v TP98 (jedna je na začátku přístupové zóny a druhá u portálu tunelu). Prostřednictvím této dvojice PDZ lze řešit ve dvou krocích další snížení rychlosti, např. na 80 km/h, pokud to vyžadují mimořádné dopravní scénáře.
3. Snižování rychlosti zvyšuje kapacitu oproti otevřenému úseku dálnice.
4. Podobně jsou řešeny některé švýcarské dálniční tunely mající rychlostní limit 120 km/h. Pokud je vysoké dopravní zatížení, snižuje se ve špičkových hodinách rychlost pomocí PDZ na 80 km/h.

mean reducing the area for break-down parking at the expense of the oblique back wall and for that reason the solution is considered in the standard to be still sufficient, although it is necessary to monitor long-term statistics of accidents associated with the lay-by niche and their consequences.

PIARC recommends that even a tunnel portal, which is also a lateral obstacle, is to be dealt with in terms of impact. It is evidenced by the fatal accident in the Lochkov tunnel. Installation of crash barriers as protection before a fixed obstacle is dealt with by ČSN 73 6101 standard, where retaining walls, culverts and underpasses are directly named. Tunnel portals are not named there, but this requirement is justified and has to be incorporated into the ČSN 73 7507 standard review.

4. CONSIDERATION ON THE MAXIMUM MAXIMAL SPEED IN MOTORWAY TUNNELS

When choosing the maximum speed, it is always necessary to choose a compromise. In principle, it is possible to move from the current 80km/8h, theoretically up to the maximum permissible speed on highway, which is currently equal to 130km/h. When choosing the speed, a compromise was sought between the ability of the tunnel to perform its transport function, i.e. the transfer of the required number of vehicles between portals, and maximised safety. Performing the transport function means that the tunnel has sufficient capacity, while the travel time is not a decisive parameter, above all driving must be smooth. The difference in travel time in a kilometre long tunnel between the speeds of 100 and 130km/h is only 9 s, which plays no role in the total time of driving on the motorway. The aspect of safety was therefore in the first place when designing the maximum permissible speed. Taking into consideration equation (1) stating the ratio of fatal accidents to speed, it is suitable to choose the speed lower than the permissible speed on motorway in order to reduce the fatal consequences of head-on crashes. The D5 committee “Road tunnel Operation” of PIARC prepared an extensive document [2] “Prevention and mitigation of tunnel related collisions!” The document deals with all kinds of accidents associated with tunnels. It draws outputs and conclusions from a database provided by member states for road tunnels. One of the results is that ca 30% of accidents in tunnels are caused by collisions at the front or the rear of the vehicle. The proposed speed of 100km/h is therefore a compromise.

If the speed were in the range of 80-90km/h, it would mean a jump in speed from the maximum permissible speed of 130km/h to the permitted speed and thus the origination of unstable traffic flow at the tunnel entrance.

According PIARC, about a third of accidents in tunnels [7] are caused by collisions at the front or the rear of the vehicle, and thus by differences in speed between vehicles. Reduction in the number of accidents can be achieved by stabilisation of the traffic flow already before entering the tunnel. These are the reasons why the linear traffic management principle is applied. It reduces speed in two steps and curtails overtaking for lorries. First, the speed is restricted to 120km/h by means of a static sign ca 500m before the tunnel and overtaking is banned for all lorries, using B22 sign. In the second step, the speed is limited further to 100km/h using variable traffic signs in the about 280m long access zone so that it is not necessary to break hard at the tunnel. This information is repeated in front of the tunnel entrance portal.

4.1 Advantages of choosing the speed of 100km/h

1. The proposed speed approaches the maximum speed permissible for motorways and the time of travel in the tunnel is lower in the order of only several seconds in comparison with 130km/h in medium-length tunnels.
2. The number of fatal accidents at 100km/h and head-on

4.2 Závislost fatálních nehod na rychlosti

V některých zemích je rychlostní limit v tunelech nižší, než je na přilehlých komunikacích, což do jisté míry omezuje důsledky kolizí, např. s pevnou překážkou. Obecně platí výrok, že „rychlost zabíjí“, ale najít vztah mezi rychlostí a následkem kolizí, např. jako pravděpodobnost usmrcení, není snadné.

V literatuře se podařilo najít jediný vztah udávající závislost fatálních nehod z čelních nárazů při zvýšení rychlosti (Fatality PŘED/PO) na rychlosti ($v_{\text{PŘED}}$, v_{PO}) [2]. Vztah na základě statistik vytvořil a publikoval Goran Nilson (Švédsko), byl ověřen R. Elvikem (Norsko) a převzal ho i PIARC v REF [2] str. 215, kde $v_{\text{PŘED}}$ je současná rychlost a v_{PO} je rychlost po zvýšení.

$$\frac{\text{Fatality PO}}{\text{Fatality PŘED}} = \left(\frac{v_{\text{PO}}}{v_{\text{PŘED}}} \right)^4 \quad (1)$$

4.3 Legislativní základ pro změnu rychlosti

Základním zákonem řešícím obecně provoz na pozemních komunikacích je zákon 361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích (tzv. Silniční zákon) a o změnách některých zákonů. O rychlosti v tunelech se v zákoně nemluví, pouze obecně o rychlosti v obcích a na pozemních komunikacích. Zákon ale obsahuje § 61, který přímo souvisí s projektem úpravy rychlosti, bez kterého by byl problém rychlost měnit.

Místní úpravou provozu lze podle § 61 odst. 2 nejvyšší dovolenou rychlost snížit.

4.3.1 Vztahy mezi obecnou, místní a přechodnou úpravou provozu na pozemních komunikacích

Místní úprava provozu na pozemních komunikacích je nadřazená obecné, tedy zákonné úpravě provozu na pozemních komunikacích. Přechodná úprava provozu na pozemních komunikacích je nadřazena místní i obecné úpravě provozu na pozemních komunikacích. Podle § 77 odst. 1 zákona č. 361/2000 Sb., stanoví místní a přechodnou úpravu provozu na pozemních komunikacích a užití zařízení pro provozní informace následující orgány:

- na dálnici – Ministerstvo dopravy ČR;
- na silnici I. třídy – příslušný krajský úřad;
- na silnici II. a III. třídy, místní komunikaci a na veřejně přístupné účelové komunikaci – obecní úřad obce s rozšířenou působností.

5. PRINCIP NÁVRHU – HARMONIZACE DOPRAVNÍHO PROUDU

Maximální dovolená rychlost je v Metodice optimalizována, právě vzhledem ke kritériu bezpečnosti, se snahou maximálně využít stávajících technických zařízení dopravního systému

collisions will drop by 49% in comparison with the speed of 130km/h. Lowering of the speed by 10km/h before the tunnel by B20a”120 sign will not introduce instability into the traffic flow. Just on the contrary, the flow is stabilised by another sign, B20a”100, in the tunnel access zone and the speed of 100km/h is reminded just before the entry to the tunnel by means of variable traffic signs, which are always in the standard equipment of the tunnel, see Tables 3–4 in specifications TP98 (one is at the beginning of the access zone and the second one at the tunnel portal. Through this pair of variable signs it is possible to solve further reduction of speed, e.g. to 80km/h, if exceptional traffic scenarios require it.

- Reduction of speed increases the capacity in comparison with open road section.
- Some Swiss tunnels having the speed limit of 120km/h are solved similarly. When the volume of traffic is high, the speed is reduced in peak periods to 80km/h using variable traffic signs.

4.2 Dependence of fatal accidents on speed

In some countries, the speed limit in tunnels is lower than that on adjacent roads, which to a certain extent limits the consequences of collisions, e.g. with a fixed obstacle. In general, the statement that “speed kills” applies, but finding a relationship between the speed and the consequences of a collision, such as the probability of killing, is not easy.

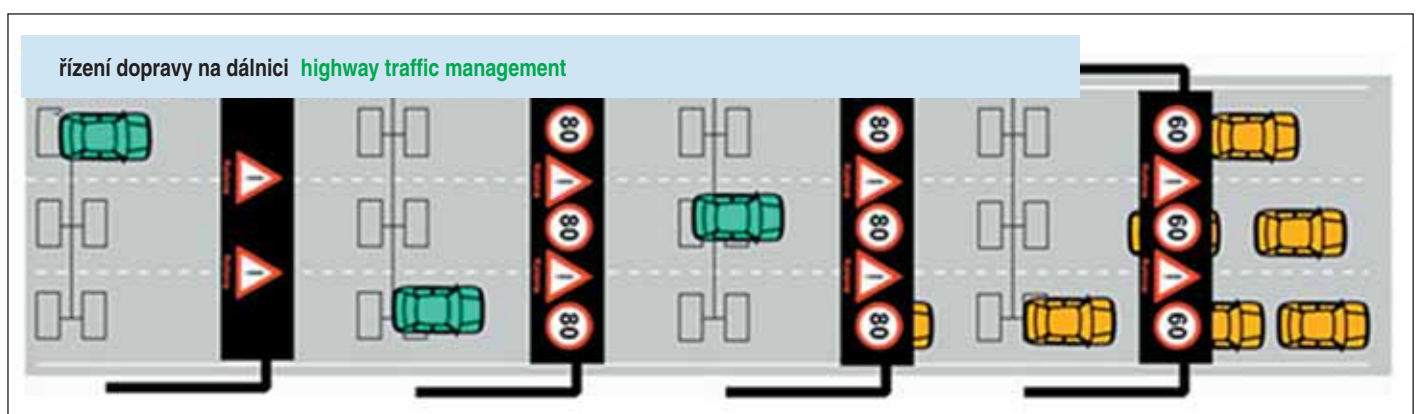
In the References, I managed to find the only relationship indicating the dependence of fatal accidents caused by head-on impacts when the speed was increased (Fatality BEFORE / AFTER) on speed (v_{BEFORE} , v_{AFTER}) [2]. The relationship was developed and published on the basis of statistics by Goran Nilson (Sweden); it was verified by R. Elvik (Norway) and was borrowed even by PIARC in REF page 215, where v_{BEFORE} is at the same time the current speed and v_{AFTER} is the speed after the increase.

$$\frac{\text{Fatality AFTER}}{\text{Fatality BEFORE}} = \left(\frac{v_{\text{AFTER}}}{v_{\text{BEFORE}}} \right)^4 \quad (1)$$

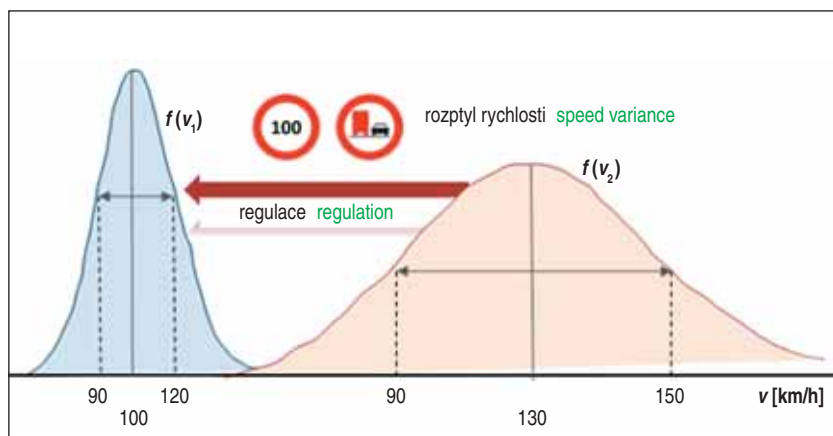
4.3 Legislative basis for speed change

The basic law dealing generally with traffic on roads is Law No. 361/2000 Coll. on road traffic (the so-called Road Traffic Law) and on amendments to certain Laws. The speed in tunnels is not spoken about in the law, the speed in municipalities and on roads is spoken about only generally. But the Law contains § 61, which is directly related to the project on the speed change, without which changing the speed would be a problem.

The highest permissible speed can be reduced by the local traffic adjustment according to § 61 col. 2.



Obr. 3 Principiální funkce RLTC
Fig. 3 Principal function of RLTC



Obr. 4 Snižování rozptylu rychlosti se snižováním střední hodnoty rychlosti
Fig. 4 Reduction of the speed variance along with reduction of the mean value of speed

navrženého podle TP98 kap. 3.2.3. Jak je uvedeno výše, asi třetina nehod v tunelech je zapříčiněna předozadními nárazy a je způsobena nestabilním a neharmonickým dopravním proudem. V mnoha zemích se stále více využívají systémy pro liniové řízení dopravního proudu na dálnici – Road Line Traffic Control (RLTC), kdy jsou na portálech PDZ měnící se parametry dopravního proudu. Tyto řídicí systémy umožňují zvyšovat kapacitu dálnice o 15 až 30 % a zároveň snižují následky a počet fatálních dopravních nehod až o 40 % s tím, že stabilizují dopravní proud. RLTC řídí dopravu v linii, kde jsou v pravidelných odstupech portály s příkazovými a varovnými proměnnými značkami upravujícími chování dopravního proudu. Zároveň se u portálů měří dva dopravní parametry – intenzita a rychlost. Na základě měření dopravní model rychlost–hustota mění rychlost vozidel a zakazuje předjíždění nákladním vozidlům. Na vstupu do linie jsou neuspořádaná vozidla s různou rychlostí a na výstupu je již harmonický dopravní proud. Na ilustrativním obr. 3 je situace zvýrazněna i graficky.

Nicméně pro harmonizaci dopravy v případě tunelů musí být využito stávajících proměnných dopravních značek, instalovaných podle TP98, s odpovídajícími číselnými hodnotami na štítech značky.

5.1 Princip harmonizace

Obr. 4, který má původ v měření působení RLTC rychlosti na SOKP, nejlépe vysvětluje, k čemu dojde v příjezdové zóně před tunelem. Uvažujme na dálnici průměrnou rychlost osobních vozidel 130 km/h. S určitou pravděpodobností se vyskytnou vozidla jedoucí rychlostí 150 km/h, ale i vozidla jedoucí 90 km/h. Působením značek B20a se symboly „100“ a značky B22a se posune střední hodnota rychlosti osobních vozidel na 100 km/h a nákladní vozidla pojedou jen v pravém pruhu, rozptyl rychlosti se bude pohybovat okolo střední hodnoty 100 km/h, na obrázku je naznačen rozptyl cca mezi 90 a 120 km/h. Tato data jsou ověřena v praxi na SOKP (D0), kde je systém RLTC již několik let v provozu.

5.1.1 Cena za harmonizaci

Nejprve se rychlost omezí na 120 km/h statickou značkou cca 500 m před tunelem a v dalším kroku na 100 km/h pomocí PDZ v příjezdové zóně tunelu, které jsou mandatorně instalovány podle TP98.

Stabilizace dopravního toku před vjezdem do tunelu má velký význam z hlediska bezpečnosti, přičemž cena investic je zanedbatelná v porovnání s přínosy, neboť všechny dálniční tunely

4.3.1 Relations between general, local and temporary adjustment of road traffic

Local regulation of road traffic is superior to general one, i.e. legal, regulation of road traffic. Temporary regulation of road traffic is superior to local regulation as well as general regulation of road traffic. According to § 77 col. 1 of Law No. 361/2000 Coll., the following authorities determine the local and temporary regulation of road traffic and the use of facilities for operational information:

- On motorways – Ministry of Transport of the CR.
- On 1st class roads – competent regional authority.
- On 2nd and 3rd class roads, urban roads and publicly accessible special-purpose roads – the municipal office of a municipality with extended powers.

5. PRINCIPLE OF THE PROPOSAL – HARMONISATION OF TRAFFIC FLOW

The maximum permissible speed is optimised in the Methodology, especially with respect to the safety criterion, with an effort for maximum use of existing technical facilities of the transport system designed according to specifications TP98 chapter 3.2.3. As mentioned above, about a third of accidents in tunnels are caused by unstable and inharmonious traffic flow. In many countries, Road Line Traffic Control (RLTC) systems are used more and more for traffic control on motorways, where variable traffic signs changing parameters of traffic flow are on portals. These control systems allow for increasing the motorway capacity by 15 to 30% and, at the same time, reduce the consequences and numbers of fatal accidents by up to 40%, while stabilising the traffic flow. The RLTC controls traffic in a line where portals with variable signs giving orders and variable warning signs regulating the behaviour of the traffic flow are installed at regular intervals. At the same time, two traffic parameters are measured at the portals – traffic volume and speed. The speed – density traffic model changes the speed of vehicles and bans lorries from overtaking. At the entry to the line there are orderless vehicles with various speed rates, while and harmonic traffic flow is already at the exit. In the illustrative Fig. 3, the situation is presented even graphically.

Nevertheless, existing variable traffic signs installed according to TP98 with corresponding numerical values on the plates have to be used for the harmonisation of traffic in the case of tunnels.

5.1 Harmonisation principle

Fig. 4, which has its origin in the measurement of the effect of the RLTC on the speed on the Prague City Ring Road (PCRR) explains best what happens in the access zone before the tunnel. Let us consider the average speed of cars on the motorway of 130 km/h. A car driving at the speed of 150 km/h will occur with a certain probability, but also cars driving at 90 km/h. The effect of the signs B20a with the symbols “100” and the sign B22a shifts the mean value of the speed of cars to 100 km/h and lorries will drive only in the right-hand lane; the speed variance will be around the mean value of 100 km/h; the variance presented in the picture ranges from 90 to 120 km/h. This data is verified in practice on the PCRR (D0 motorway), where the RLTC system has been in operation already for several years.

5.1.1 Cost of harmonisation

First, the speed is restricted to 120 km/h by a static sign approximately 500 m before the tunnel and, in the next step, to 100 km/h using variable traffic signs in the tunnel access zone, which are mandatorily installed according to the TP98.

jsou už nyní povinně vybavovány proměnnými dopravními značkami v příjezdové zóně, viz kap 3.2 TP98 „Dopravní značení a dopravní zařízení“.

6. TECHNOLOGICKÉ, TECHNICKÉ A BEZPEČNOSTNÍ ÚPRAVY VYVOLANÉ ZMĚNOU LIMITU POVOLENÉ RYCHLOSTI V TUNELU

Změna rychlosti má dopady na následující provozní soubory v členění podle TP98: dopravní systém, osvětlení tunelu a řídicí systém. V několika případech se jedná o změny, k nimž nejsou podklady v normě či v technických podmínkách. Vzhledem k omezenému rozsahu článku, budou tyto úpravy, vyžadující podrobnější komentář, komentovány v jeho volném pokračování.

7. ZÁVĚR

Silniční zákon poskytuje legislativní podporu změny rychlosti místní úpravou, která je nadřazena zákonné povinnosti řidiče. Pokud kontrola dokumentace a kontrola parametrů komunikace prokáže, že vozovka je navržena podle normy pro projektování silnic a dálnic, je možné přejít na maximální dovolenou rychlost 100 km/h. Řešení navržené podle kapitoly 5 je optimalizováno vzhledem k bezpečnosti. Stabilizace dopravního proudu se dosáhne za cenu doplnění dvou statických značek a úpravy štítů u dvou stávajících PDZ.

Výzkum okolo maximální dovolené rychlosti v tunelech a práce ve výboru D.5 ukázaly, že pro další optimalizace technických předpisů a zajištění udržitelnosti tunelů je nezbytné mít detailní statistiky o excesech v tunelu. Dosud se využívala centralizovaná databáze AZMUT vyvinutá a instalovaná na velkých tunelů v roce 2004 v rámci projektu SAFETUN. Tato databáze však vyžaduje nezbytné úpravy a doplnění. Zde by mělo sehrát jedinečnou roli celostátního integrátora ŘSD ČR a zadat zpracování úpravy databáze AZMUT.

V rámci zpracování Metodiky byly formulovány dva požadavky na změnu normy ČSN 73 7507, jejíž revize právě probíhá. Tyto změny je nutné do revize zapracovat.

Vzhledem k tomu, že dopady změny rychlosti se týkají několika technologických souborů a v jednom článku není možné tyto úpravy popsat, bude následovat pokračování.

*Poděkování za cenné připomínky Ing. M. Hoflerovi,
Ing. E. Predigerovi, Ing. Z. Pliškovi*

*prof. Ing. PAVEL PŘIBYL, CSc.,
pribypav@fd.cvut.cz,
Fakulta dopravní ČVUT v Praze*

Recenzoval Reviewed: Ing. Pavel Šourek

Stabilisation of the traffic flow before entering the tunnel is of great importance in terms of safety, while the cost of investment is negligible in comparison with benefits because all motorway tunnels are already mandatorily equipped with variable traffic signs in the access zone, see Chapter 3.2 of TP98 “Traffic signs and signals and traffic facilities”.

6. TECHNOLOGY, TECHNICAL AND SAFETY MODIFICATIONS INDUCED BY THE CHANGE OF THE LIMIT FOR PERMISSIBLE SPEED IN TUNNEL

The change has implications for the following operating units broken down by TP98: traffic system, tunnel lighting, and control system. In several cases, these are changes for which there is no basis in the standard or in the technical specifications. With respect to the limited extent of the paper, these changes requiring more detailed comments will be commented in a free continuation of this paper.

7. CONCLUSION

The Road Law provides legislative support for changes of speed by local adjustment, which is superior to legal obligation of drivers. If checking on documents and checking on road parameters prove that the roadway is designed in compliance with the standard for designing roads and motorways, it is possible to switch to maximum permitted speed of 100km/h. The solution proposed according to Chapter 5 is optimised with respect to safety. Stabilisation of traffic flow is achieved at the expense of addition of two static signs and adjustment of the plates of two existing variable traffic signs.

The research regarding maximum permissible speed in tunnels and the work in the F.5 committee showed that it is necessary for other optimisations of technical regulations and securing the sustainability of tunnels to have detailed statistics on excesses in a tunnel. Until now, the AZMUT centralised database has been used. It was developed and installed to management centres of tunnels in 2004 within the framework of the SAFETUN. However, this database requires the necessary adjustments and additions. Here, the Road and Motorway Directorate of the CR should play a unique role of the national integrator and order development of the AZMUT database modification.

Two requirements for the ČSN 73 7507 standard, reviewing of which has just started, were formulated within the framework of the work on the Methodology. It is necessary to incorporate these changes into the standard.

With respect to the fact that implications of the speed change apply to several technology units and it is not possible to describe all of the modifications, a continuation will follow.

*Acknowledgements for valuable comments for Ing. M. Hofler,
Ing. E. Prediger, Ing. Z. Pliška*

*prof. Ing. PAVEL PŘIBYL, CSc.,
pribypav@fd.cvut.cz,
Fakulta dopravní ČVUT v Praze*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] PŘIBYL, P. a kol. *Expertní zpráva. Metodika přechodu na vyšší rychlost*. ČVUT Fakulta dopravní, Praha, 2019, str. 94
- [2] PIARC *Prevention and mitigation tunnel related collisions*. Výbor D.5, Paříž, str. 480, ISBN 80-239-7780-6
- [3] ČSN 73 6101 *Projektování silnic a dálnic* 138, (revize 2018), ČAS, Praha, září 2018
- [4] RAJNER, F. *Základní podmínky pro úpravu rychlostních limitů v tunelu*. *Tunel č. 1*. 2019
- [5] PŘIBYL, P. a kol. ITA-AITES, Praha 2018. *Doporučení pro úpravu rychlosti ve vybraných kategoriích tunelů na PK*, str. 42, ISBN 978-80-260-8623-9
- [6] ČSN 73 7507 *Projektování tunelů pozemních komunikací*, ÚNMZ, Praha, prosinec 2013
- [7] PIARC, Technical committee D.5: *Lay bays and protection against lateral obstacles*. Výbor D.5, Paříž, 2018, str. 46

FOTOREPORTÁŽ Z VÝSTAVBY DVOUKOLEJNÉHO ŽELEZNIČNÍHO TUNELU ZVĚROTICE NA IV. ŽELEZNIČNÍM KORIDORU

PICTURE REPORT FROM CONSTRUCTION OF ZVĚROTICE RAILWAY TUNNEL ON RAILWAY CORRIDOR IV

FOTO ING. LIBOR MAŘÍK / PHOTO ING. LIBOR MAŘÍK



Obr. 1 Zahájení vrtání pilotových stěn
Fig. 1 Commencement of drilling for pile walls



Obr. 2 Odtěžování jámy mezi pilotovými stěnami
Fig. 2 Excavation of a pit between pile walls



Obr. 3 Vrtky pro lanové kotvy na třetí převážce
Fig. 3 Drillholes for cable anchors on the third waler



Obr. 4 Základová spára svahovaného úseku jámy
Fig. 4 Foundation base of the section of the pit with slopes



Obr. 5 Základové pasy tunelového ostění
Fig. 5 Strip footings of the tunnel lining



Obr. 6 Situování stavební jámy v blízkosti dálnice D3 Exit Soběslav
Fig. 6 Location of the construction pit near the D3 motorway, Soběslav exit

**FOTOREPORTÁŽ ZO SLÁVNOSTNÉHO ZAČATIA RAZENIA
TUNELA BIKOŠ NA RÝCHLOSTNEJ CESTE R4,
SEVERNÝ OBCHVAT PREŠOVA, I. ETAPA DŇA 5. 6. 2020**
**PICTURE REPORT FROM THE CEREMONIAL COMMENCEMENT
OF THE BIKOŠ TUNNEL EXCAVATION ON R4 FAST HIGHWAY,
NORTHERN BY-PASS OF PREŠOV, STAGE 1, ON 5TH JUNE 2020**

FOTO ARCHIV TUCON, A.S. / PHOTO TUCON, A.S. ARCHIVE





DOPRAVOPROJEKT, a.s.

najväčšia projektová,
konzultačno-inžinierska spoločnosť
na Slovensku v oblasti dopravných
stavieb so 70 ročnou tradíciou

POSKYTUJEME:

- projektové práce
- konzultačné služby
- expertízne a poradenské služby
- stavebný dozor
- geotechnické a environmentálne projekty
- inžiniersku činnosť
a majetkovoprávne vysporiadanie

DOPRAVOPROJEKT, a.s.,
Kominárska 2, 4,
832 03 Bratislava
www.dopravoprojekt.sk

www.dopravoprojekt.sk



VÁŠ PARTNER PRI PRÍPRAVE A REALIZÁCII STAVIEB

REMING
CONSULT A.S.

Pracovisko Bratislava
Trnavská cesta 27, 831 04 Bratislava
Tel: +421 2 5556 6166
reming@reming.sk

www.reming.sk

Pracovisko Žilina
Na bráne 4, 010 01 Žilina
Tel: +421 41 7010710
sekretariat.za@reming.sk



VIS, a.s. zajišťuje

- investorské služby a inženýrskou činnost zejména pro dopravní stavby, komunikace, mosty, tunely (vč. technologického vybavení)
- konzultační činnost v investiční výstavbě
- měření a sledování při ražbě a výstavbě tunelů
- zabezpečení vstupních podkladů, projektové přípravy a dodávek pro stavby



VIS, a.s.

Bezová 1658/1
147 00 Praha 4

tel.: 244 466 111

e-mail: vis@vis.cz
<http://www.vis.cz>



...A NAJLEPŠÍ SA CHCÚ NA NÁS ASPOŇ PODOBAŤ...



S NAMI
urobíte dieru do
SVETA
a Karpát



UŽ 10 ROKOV VÁM PRINÁŠAME NAŠE NÁPADY,
VÍZIE A NADČASOVÉ RIEŠENIA DOPRAVY.



Správa železnic



**SPRÁVA
ŽELEZNIC**

Dobrá správa

**Řídíme, spravujeme a inovujeme
železniční síť v ČR. Zajišťujeme
bezpečnou a plynulou dopravu
na všech tratích.**

**Správa železnic
státní organizace**

spravazeleznic.cz

ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB THE WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

MOZAIKA ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB

■ Studie podzemního nádraží pro Frankfurt nad Mohanem

Spolkové ministerstvo dopravy a Německé dráhy rozhodly v září 2019 o vypracování studie podzemního nádraží ve Frankfurtu pro dálkové vlaky. Nádraží bude vybudováno pod současným povrchovým hlavním nádražím. Součástí stavby samozřejmě budou tunely, které napojí existující tratě na nové podzemní nádraží.

Studie byla rozpracována v prvním čtvrtletí roku 2020 a měla by být dokončena v jarních měsících roku 2021. Koncept podzemní stanice obsahuje čtyři koleje, mezi kterými jsou umístěna dvě nástupiště. Stanice je orientována východo-západním směrem. Vlaky budou přijíždět do stanice dvojkolejnými tunely. Podzemní nádraží zkrátí cestovní čas dálkových vlaků o 7 až 8 minut. Přemístění nádraží dálkových vlaků do podzemí samozřejmě přispěje také k zlepšení životního prostředí ve městě.

■ Druhá fáze londýnského tunelu pro přívod elektrické energie

Firmou Hochtief vedené sdružení firem (JV) získalo zakázku za 460 milionů eur, která zahrnuje vybudování druhé části tunelu zásobujícího Londýn elektrickou energií (London Power Tunnel 2). Stavba byla zahájena v březnu 2020 a v jejím rámci bude během šesti let vybudován tunel délky 32,5 km. Důraz je kladen na co nejmenší narušení provozu města nad budovanou stavbou. Stávající kabelové sítě nebudou vykopávány, protože jsou staré 50 let a jsou na konci své životnosti.

■ Oranžová trasa bangkokého metra

V lednu 2020 proběhla slavnostní prorážka jednoho ze tří projektů pro vybudování prvních 23 km oranžové trasy metra v hlavním městě Thajska v Bangkoku. Projekt, zahájený v květnu 2018, zahrnoval 6 km ražeb a vybudování tří podzemních stanic. Italsko-thajská společnost, která je dodavatelem, použila na ražby razicí stroj Terratec EPB o průměru 6,39 m. Konstrukce stroje byla navržena na ražbu ve složitých a proměnlivých geotechnických podmínkách. Stroj při ražbě procházel vrstvami měkkého plastického až velmi tvrdého jílu s čockami jemného písku, který byl zdrojem přítoků podzemní vody pod vysokým tlakem, což vyžadovalo užití bentonitu pro stabilizaci čelby a zabránění sedání povrchu nad raženým tunelem.

■ Příprava pro zahájení provozu v bazovém tunelu Ceneri

Závěrečné zkoušky před zahájením provozu v bazovém tunelu Ceneri dlouhém 15,4 km byly slavnostně zahájeny 15. prosince 2019. Poslední část nové železniční trati podcházející Alpy by měla být uvedena do provozu s platností nového jízdního řádu, z čehož vyplývá, že provoz v tunelu bude zahájen 13. prosince 2020, kdy první vlak severním směrem vjede do tunelu ráno v 6:03 hod. Investor si je jistý, že všechny zkoušky budou včas úspěšně ukončeny a že bude ukončeno zvětšení profilů existujících tunelů v kantonu Ticino, kde práce probíhají na 20 staveništích.

■ Fingovaný útěk z vězení „tunelem“

Nejméně 75 vězňů mělo uniknout z vězení v Paraguayi tunelem. Tunel byl vykopán z jedné cely a vedl do místa za hradbami vězení, přičemž objem vyrubané písčité zeminy naplnil asi 200 pytlů. Uprchlí muži byli členy neblaze proslulé brazilské kriminální organizace, ke které přísluší asi 10 tis. zločinců, zabývajících se pašováním drog a zbraní.

Nicméně podle obžaloby paraguayského ministerstva vnitra měl tunel zmást vyšetřovatele. Ve skutečnosti mnoho vězňů mohlo volně odejít hlavní branou vězení. Proto byla řada strážných vzata do vaz-

by a je vyšetřována, zatímco ozbrojení policisté pátrali po uprchlých vězňích.

■ Geotechnické vlastnosti londýnského podzemí

Povrchní povědomí o geotechnických podmínkách podzemí Londýna říká, že tunelování v londýnském jílu nebo křídových vrstvách není příliš obtížné, protože se jedná o dosti monotónní prostředí. Jako téměř vždy je skutečnost podstatně složitější.

Již dříve jsme v Mozaice informovali o stavbě nové kmenové stoky, která odvede splaškové a většinu dešťových vod z města po proudu řeky Temže k nové ústřední čistírně odpadních vod. Projekt se nazývá Thames Tideway.

Součástí projektu je také tunel nazvaný podle řeky Lee, jehož průměr je 7,2 m a razí se v hloubce 55 m až 70 m pod povrchem v křídových vrstvách. Při jeho ražbě zeminový štít nečekaně narazil na mohutnou poruchu křídových vrstev, která dosahuje hloubky přes 100 m pod povrchem a je vyplněna zvodnělým jemným pískem, pískem, šterkem a úlomky křídových hornin. Porucha nebyla podle výsledků průzkumů v tomto místě předpokládána, ale v londýnském podzemí to není nic nového. Poruchy jsou známy pod zkratkou DFH (drift filled hollow – naplaveninami vyplněná díra) a s prováděním velkých staveb v londýnském podzemí počet objevených DFN rychle přibývá. Dnes je známo 83 velkých DFN (v roce 1979 jich bylo známo 26).

Pokud jde o hlavní kmenovou stoku, která vede z větší části pod řekou Temží a je dlouhá 25 km, je z poloviny již vyražená. Do této stoky budou z obou břehů řeky raženy přípojovací tunely, které do kmenové stoky přivedou odpadní vody z té které přílehlé části Londýna.

■ Nadzemní vedení velmi vysokého napětí přemístit do tunelu?

Chráněnou krajinnou oblastí severovýchodně od Londýna, která je mimořádně vizuálně pěkná, narušuje nadzemní vedení elektrické energie v délce 3,5 km včetně 10 stožárů. Proto se v současnosti připravuje projekt na přemístění nadzemního vedení do tunelu délky 3 km. Tunel bude mít průměr 4,4 m a bude ražen bentonitovým štítem, ostění bude segmentové. Hloubka klenby tunelu pod povrchem území bude kolísat, ale nebude menší než 15 m.

Celkově bude vytěženo 135 tis. m³ horniny, z čehož bude 13 tis. m³ sedimentů, podstatný zbytek výrubu bude z ražby v měkkých skalních horninách.

Projekt zahrnuje také šachty, trvalý přístup bude možný z obou konců tunelu.

■ Podzemní depo pro část montrealského metra

Montrealské metro bylo budováno od začátku šedesátých let 20. století a jeho první trasa zahájila provoz v r. 1966. Po vzoru některých tras pařížského metra jsou podvozky metra v Montrealu vybaveny pneumatikami. Toto metro je nejvytíženější v Kanadě, ve všední dny přepravuje průměrně denně 1,3 mil. cestujících.

Na konci šedesátých let minulého století byly provozovány tři trasy celkové délky 25,9 km se 26 stanicemi. Dnes délka čtyř tras dosáhla 69 km s 68 stanicemi.

Předpokládaný nárůst počtu cestujících v dalších letech vyžaduje další rozšíření a zvýšení intenzity dopravní kapacity, z čehož vyplývá i zvýšení parkovacích a servisních kapacit.

Páteří systému je oranžová trasa a rozhodlo se, že poblíž této trasy se vybudují podzemní depo a servisní základna. Projekt je již ve stavbě a jeho hlavní součástí jsou:

- spojovací tunel délky 0,8 km a šířky od 8,5 m do 10 m navazující na dnešní konec oranžové trasy, po dokončení bude v jeho části místo pro parkování 4 souprav;
- na jeho konci se buduje hloubeným způsobem rozvětvení na 5 budoucích tunelů;
- na toto rozvětvení v první fázi navážou 3 dvojkolejné tunely, z nichž první délky 183 m bude sloužit pro údržbu a malé opravy, další dva délky 305 m umožní parkování 2x4 soupravy;
- u konce prvního tunelu bude hloubeným způsobem vybudována dílna o půdorysu 21x26 m;
- větrací objekty podzemních objektů.

■ Herrenknecht dokončil hloubení tří svislých šachet v Barceloně

Stroj na hloubení svislých šachet dodaný firmou Herrenknecht dokončil 5. února 2020 hloubení poslední ze tří šachet na území města Barcelony. Šachty budou sloužit jako únikové a větrací pro podzemní část nové rychlostní tratě z Barcelony do francouzského Perpignanu. Hloubení šachet o vnějším průměru 9,8 m a hloubkách 43,5 m, 41,0 a 50 m bylo zahájeno v roce 2019 a probíhalo ze stísněných stavenišť uvnitř města, což znamenalo problémy s logistickým zabezpečením stavby.

■ Metro v Nepálu?

Vztahy mezi Spojeným královstvím Velké Británie a Severního Irsku a Nepálem jsou z historických důvodů intenzivní. Proto se řada Nepálců přemístila za vzděláním a prací do Británie. Jedním z nich je Binod Lal Amatya, vedoucí geotechnik londýnské kanceláře firmy Arcadis. Součástí jeho pracovní náplně je vypracování návrhu metra v káthmánském údolí. Veřejná doprava v hlavním městě Nepálu Káthmándu a jeho okolí v podstatě neexistuje, pokud za ní nebudeme

pokládat soukromé společnosti provozující mikrobusy, které jsou určeny pro 15 osob, ale obvykle přepravují 25 pasažérů.

Dopravní situaci charakterizují mj. následující údaje. Více než milion motocyklů, což je 34 % všech dopravních prostředků provozovaných v Nepálu, je vlastněno obyvateli žijícími v káthmánském údolí. Průměrná rychlost jízdy během dopravní špičky je 7 km/hod! Tuto situaci vyřeší jen metro, jehož podzemní část by měla mít délku 65 km.

■ STUVA vydala aktualizované „Doporučení pro těsnění segmentů tunelového ostění“

Dokument prezentovala v roce 2019 na své konferenci ve Frankfurtu.

■ Zrušené nebo posunuté konference kvůli koronaviru

Kvůli koronaviru byla zrušena nebo posunuta řada tunelářských konferencí nebo seminářů apod.

V první řadě došlo k posunutí Světového tunelářského kongresu WTC 2020, jehož nový termín je 11. až 17. září 2020. Místo konání se nemění, je jím hlavní město Malajsie Kuala Lumpur.

Maastrichtská akce Inovace v tunelech nebo mnichovské 7. tunelářské sympozium byly zrušeny bez náhrady.

Christian Veder kolodium v Grazu a Mechanika skalních hornin a tunelářský den konaný WBI GmbH byly posunuty do roku 2021.

Luzernský Swiss Tunnel Congres 2020 byl také zrušen, ale pořadatel se rozhodl prezentovat on-line letošní plánované přednášky 3. června 2020, což je nyní ale zbytečná informace, pokud přednášky nejsou umístěny na webu Švýcarské tunelářské asociace.

69. geomechanické kolokvium a 12. rakouský tunelářský den v Salcburku by se měly konat v původním termínu od 7. do 10. října 2020.

Ing. MILOSLAV NOVOTNÝ,
mila_novotny@volny.cz

VÝSTAVBA TUNELŮ NA RYCHLOSTNÍ SILNICI M85 V MAĎARSKU CONSTRUCTION OF TUNNELS OF M85 FAST HIGHWAY IN HUNGARY

New tunnels are being constructed by a consortium of firms comprising Dömpfer Kft., Subterra-Raab Kft. and Pannon Doprastav Kft. on the M85 fast highway, within the framework of the fifth stage in the direction of the Austrian border, under „Bécsi domb“ (Wien Hill). A ca 800m long double-lane road tunnel will be constructed for each direction of traffic. The control centre and the seat with hinterland for the local “Road and Motorway Directorate” for controlling the traffic in the tunnel and on the road before and behind the tunnel is being built within the framework of the M85 project stage III in the region of „Nagyecsk“. The commencement of excavation (left-hand tunnel tube) and the end of the mined part are assumed to take place in September 2020 and September 2021, respectively. The mined part will be subsequently used as a service road for excavation of the right-hand tunnel tube and for the access to the construction site on the western side of the Wien Hill; the end of excavation of both tunnels is planned for September 2022. The completion of the whole M85 V project is planned for 30th June 2024.

Nové tunely staví sdružení firem Dömpfer Kft. – vedoucí člen sdružení 25 %, Subterra-Raab Kft. 50 %, Pannon Doprastav Kft. 25 % na rychlostní silnici č. M85, v rámci stavby páté etapy (třetí a čtvrtá etapa je také stavěna sdružením Subterrou – Raab Kft.), ve směru na rakouské hranici pod kopcem „Bécsi domb“ (Viedeňský kopec). Pro každý směr bude vybudován dvoupruhový silniční tunel o délce cca 800 m. Velín a sídlo se zázemím pro místní „ŘSD“ pro řízení provozu v tunelu a na silnici před i za tunelem se buduje

v rámci stavby M85 III etapa v oblasti „Nagyecsk“. Zahájení ražeb (levého tunelu) je předpokládáno na 09/2020, konec ražené části 09/2021. Ta bude následně sloužit jako obslužná cesta pro ražbu pravého tunelu a přístupu na stavenišť na západní straně Viedeňského kopce, konec ražeb obou tunelů je 09/2022. Dokončení celého projektu M85 V je naplánováno na 30. 6. 2024.

Nyní probíhají práce na zářezu a zajištění portálu na východní straně tunelu.

Technický popis budovaných tunelů:

- projektovaná délka ražené části levého tunelu 730,1 m (od km 90+134,9 do km 90+865);
- projektovaná délka ražené části pravého tunelu 739,6 m (od km 90+134,9 do km 90+874,5);
- tloušťka finálního ostění 35 cm, průřezová plocha tunelu je 114 m²;
- výška tunelu 11 m;
- ražená část tunelu bude vybudována metodou NRTM;
- vodorovná osová vzdálenost mezi dvěma tunely 24 m;
- tunely budou spojeny dvěma nouzovými přechody, průřezová plocha 14 m²;
- hloubená část na východní straně délka 37,5 m;
- hloubená část na západní straně délka 27,6 m.

Ing. JAN FRANTL, jfrantl@subterra.cz,
Ing. GERGELY BÖLCSKEI,
Gergely.Bolcskei@subterraraab.hu

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

ČESKÁ REPUBLIKA

METRO D – NOVÁ LINKA PRAŽSKÉHO METRA

Projekt metra D formou geologického průzkumu má za sebou již své první narozeniny, a to protože právě dne 19. 6. 2019 byla na Pankráci jeho výstavba slavnostně zahájena. V tuto chvíli jsou plněny všechny projektem zadané úkoly, které jsou potřebné pro vlastní geologický průzkum, ale i pro přípravu a realizaci dalších etap výstavby celé trasy metra D.

V zóně ovlivnění realizací stavby se společnosti INSET s.r.o. a GeoTec-GS, a.s. věnují pasportizaci a průběžnému sledování cel-



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

kem 59 již zaměřených a osazených objektů, kde 17 z nich se nachází v oblasti nadzemní zástavby a zbylých 42 je umístěno ve vlastním podzemí. Jejich aktuálním úkolem je vypracování znaleckých posudků vztahených k dotčeným objektům, které jsou a budou ovlivněny postupem prací v podzemí a jejich reakcí plynoucích z probíhajících ražeb.

Pokračující práce v podzemí se v tomto čase soustředí zejména na ražbu horizontálních štol a tunelů na všech čtyřech lokalitách dotčeného úseku Pankrác – Olbrachtova. Na první lokalitě označené jako VO-OL (obr. 1) má společnost HOCHTIEF CZ a.s. vyraženo cca 140 m průzkumné štoly, na druhé lokalitě PAD4 má společnost Metrostav a.s. za sebou již téměř 120 vyražených metrů a na třetí lokalitě OL1 (obr. 2) společnost STRABAG a.s. dokonce svůj úkol vyrazit štolu délky 60 m již splnila. Na čtvrté lokalitě označené jako PAD1b (obr. 3), kde nejsou v obsahu geologického průzkumu předepsány horizontální ražby, se po hloubení vstupní šachty přistoupilo k provedení

THE CZECH REPUBLIC

METRO D – NEW LINE OF PRAGUE METRO

The Metro D Line project in the form of geological survey has already had its first birthday with respect to the fact that the ceremonial commencement of the work took place in Pankrác on 19th June 2019. At this moment, all tasks assigned by the design which are required not only for the geological survey itself but also for preparation and implementation of other stages of the development of the whole Metro D Line are fulfilled.

In the zone affected by the implementation of the project, the companies of INSET s.r.o. and GeoTec-GS, a.s. are dealing with the condition survey and continuous monitoring of the total of 59 already surveyed objects with measurement accessories installed on them, where 17 of them are located in the area of buildings and remaining 42 are located in the underground. The current task of the companies is to elaborate expert opinions relating to the affected objects which are and will be influenced by the progressing underground operations and their responses following from the ongoing underground excavation.

The continuing work operations in the underground will be at the moment focused first of all on the excavation of horizontal galleries and tunnels at all four locations of the above-mentioned Pankrác – Olbrachtova section. At the first location, denoted as VO-OL (see Fig. 1), the company of HOCHTIEF CZ a.s. has finished the excavation of ca 140m of



Obr. 2 Lokalita OL1
Fig. 2 Location OL1



Obr. 3 Lokalita PAD1b
Fig. 3 Location PAD1b

prvních cca 140 m průzkumného jádrového vrtu z plánované délky 205 m v trase, resp. ose již definitivního vzduchotechnického tunelu díla. Na všech lokalitách se kromě již výše zmíněných ražeb potom také provádějí kontrolní a tlakové injektáže, další různé průzkumné vrtu či presiometrické vějíře.

Samostatnou a jistě velmi důležitou kapitolou je měření dnes provozovaných staničních tunelů stávající stanice Pankrác metra C, s kterou jsou prováděné ražby štol geologického průzkumu již v přímém kontaktu. Vyhodnocování dat z těchto měření a jejich interpretaci včetně aplikace v souladu s interakcí na prováděné ražby má na starosti za tímto účelem zřízená Rada monitoringu (RAMO). Zatím zastížená geologická prostředí prokazuje a dokladuje velmi složité podmínky, které si při vlastním provádění vyžadují i uplatnění doplňkových opatření nutných k dalšímu bezpečnému provádění díla.

V souladu se schváleným fázováním výstavby trasy metra D byly začátkem tohoto roku zahájeny veřejné soutěže na výběr zhotovitele prvního navazujícího provozního úseku Pankrác – Olbrachtova (stavební část) a na dodavatele komplexního geomonitoringu stejného úseku stavby. Nabídky jednotlivých uchazečů stavby i geomonitoringu byly již odevzdány zadavateli DP hl. m. Prahy. V rámci průběhu obou soutěží však byly podány námitky k ÚOHS, který nyní zkoumá jejich oprávněnost v očekávání vydání následného závazného rozhodnutí. Můžeme si tedy společně jen přát, že toto rozhodnutí bude vydáno co nejdříve a to v obsahu, který bude pro budoucí vývoj projektu metra D objektivně i nadále pozitivní.

Současně obstaravatel zadavatele, společnost Inženýring dopravních staveb, dále pokračuje v administraci žádosti vedoucí k získání stavebního povolení pro stavbu dalšího navazujícího provozního úseku Olbrachtova – Nové Dvory s přístupovými tunely z Písnice.

Doufejme tedy, že trend podávání veskrze pozitivních informací o přípravě a výstavbě trasy metra D bude moci i nadále pokračovat a nebude zatížen jeho možnou negací plynoucí zejména z procesních a legislativních potíží.

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

the exploratory gallery; at the second location, the company of Metrostav a.s. has finished the excavation of nearly 120 metres; at the third location, OL1 (see Fig. 2), the company of STRABAG a.s. has already fulfilled its task to excavate a 60m long gallery. At the fourth location, denoted as PAD1b (see Fig. 3), where no horizontal excavation is prescribed in the geological survey programme, the contractor proceeded, after sinking the entrance shaft, to initial ca 140m of the cored exploratory borehole of the planned length of 205m on the alignment, respectively on the central line, of the final ventilation tunnel. Checking grouting and pressure grouting, other various survey boreholes of pressuremeter fans are being carried out at all locations in addition to the above-mentioned excavation.

Measurements in all currently operating station tunnels of the existing Pankrác Station on the C Line, with which the excavation of galleries for geological survey being carried out are already in a direct contact, form a separate and certainly very important

chapter. Evaluation of data gained from these measurements and its interpretation including the application in harmony with the interaction with the excavation being carried out is the responsibility of the Monitoring Board set up for this purpose. The geological environment encountered so far proves and documents very complex conditions, requiring application of supplementary measures necessary for further safe execution of the works.

In accordance with the approved phasing of the development of the Metro D Line, public tenders for the selection of the contractor for the civil part of the first linking operating section, Pankrác – Olbrachtova and the contractor for comprehensive geomonitoring of the same section of the construction were launched at the beginning of 2020. The bids of individual tenderers for the construction works and geomonitoring have already been submitted to the contracting authority, DP hl. m. Prahy (Prague public transit company). However, appeals were lodged at the ÚOHS (office for the protection of competition), which is currently examining their justifiability, expecting the issuance of a subsequent binding decision. We can therefore only wish that this decision will be released as soon as possible, with the objective content, continuing to be positive for the future development of the Metro D Line project.

At the same time, the contracting authority's procurer, the company of Inženýring Dopravních Staveb (engineering for transport construction projects) continues to administrate the application leading to obtaining the construction permit for the construction of the next linking operating section, Olbrachtova – Nové Dvory, with access tunnels from Písnice.

Let us therefore hope that the trend of providing entirely positive information about the preparation and construction of the Metro D Line will be allowed to continue further and will not be burdened by possible negation following first of all from procedural and legislative problems.

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



Obr. 4 Budování základových pásů hloubeného tunelu na vjezdovém portálu tunelu Deboreč
Fig. 4 Construction of strip footings of the cut-and-cover tunnel at the entrance portal of the Deboreč tunnel

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.

Tunel Mezno

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

K 30. 6. 2020 je vyraženo 666 m v kalotě a 372 m v opěři tunelu z výjezdového portálu. Proražení tunelu v kalotě se předpokládá v první polovině srpna 2020. Tunelu Mezno je věnován samostatný článek uvnitř čísla.

Tunel Deboreč

Tunel Deboreč (obr. 4) 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 je v celé délce vyražen a zajištěn primárním ostěním. Aktuálně probíhají práce na přípravě realizace sekundárního ostění. Mezilehlá deštníková izolace bude tvořena PVC fólií tl. 2 mm se signální vrstvou, železobetonové ostění z betonu C30/37-XC1, XF1, XA2 tl. 320 mm bude betonováno v blocích délky 12 m.

Ing. TOMÁŠ JUST,
tjust@ohlzs.cz, OHL ŽS, a.s.

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 contractor for construction.

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 30th June 2020, the excavation of 666m in the top heading and 372m in the bench at the exit portal has been finished. The tunnel top heading breakthrough is assumed to take place in the first half of August 2020. A separate article inside this journal issue is devoted to the Mezno tunnel.

Deboreč tunnel

The Deboreč tunnel is a 660m long mined double-track railway tunnel; 562m of its length are being mined; the linking sections at the entrance and exit portals are 49m long each.

The tunnel excavation has been finished and provided with primary lining throughout its length. At the moment, the work on the preparation of the construction of the secondary lining is ongoing. The drained tunnel waterproofing (an umbrella system) will be formed by a 2mm thick PVC membrane with a signal layer; the 320mm thick C30/37-XC1, XF1, XA2 reinforced concrete lining will be concreted at 12m long blocks.

Ing. TOMÁŠ JUST, tjust@ohlzs.cz, OHL ŽS, a.s.

SLOVENSKÁ REPUBLIKA

TUNELY NA DIALNIČNEJ SIETI

Tunely Ovčiarsko a Žilina

Južný diaľničný obchvat Žiliny ma od Hričovského Podhradia po Lietavskú Lúčku celkovú dĺžku 11,320 km. Obchvat sa začína v Hričovskom Podhradi v križovatke diaľnic D1 a D3 a končí sa v mieste napojenia na plánovanú križovanku Lietavská Lúčka a v nej na privádzač Lietavská Lúčka – Žilina. Diaľničný úsek D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka je jeden z najťažších, ktorý bude z veľkej časti vedený nadzemnými estakádami a v dvoch tuneloch (Ovčiarsko dĺžky 2 367 m a Žilina dĺžky 687 m).

Stavebníkom a zároveň budúcim správcom diaľničného úseku a oboch tunelov je Národná diaľničná spoločnosť, a.s. Dobudovaním diaľnice D1 pri Žiline sa vytvoria podmienky k odľahčeniu dopravy na cestách I/18 a I/64, čo výrazne prispeje k zníženiu negatívnych vplyvov dopravy na životné prostredie v meste Žilina a obci Lietavská Lúčka.

Výstavba oboch tunelov je vo finálnej fáze, stavebné práce ako také sú ukončené, dokončujú sa technické a technologické detaily, odstraňujú sa nedorobky a zároveň sa intenzívne realizuje napojenie celého diaľničného úseku D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka k privádzaču Žilina v križovatke v Lietavskej Lúčke. Predpokladaný termín odovzdania predmetného úseku motoristickej verejnosti je koniec roka 2020.

Zhotoviteľom diaľničného úseku D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka je Združenie Ovčiarsko (Doprastav, a.s. – líder Združenia, Váhostav-SK, a. s. – člen Združenia, Strabag, s. r. o. – člen Združenia, Metrostav a.s. – člen Združenia).

Tunel Prešov

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

Práce v uplynulom sledovanom období boli ovplyvnené pandémiou choroby COVID-19 a s ňou spojenými reštriktívnymi opatreniami slovenskej vlády. Pre všetkých účastníkov realizácie to bola nová, doposiaľ nepoznaná situácia. Zhotoviteľ podnikal všetky kroky a opatrenia k tomu, aby priebeh výstavby bol čo najmenej ovplyvnený. Keďže zhotoviteľom tunela Prešov je česká stavebná spoločnosť (Metrostav a.s.) a ich pracovníci českej národnosti sa po dobu platnosti opatrení vyhlásené Vládou SR, resp. Úradom verejného zdravotníctva SR v súvislosti s rizikom šírenia nákazy koronavírusu nemohli fyzicky dostaviť na stavbu, boli prispôbené presuny výrobných kapacít a druh stavebných prác tak, že vedúci pracovníci si vyskúšali riadenie výrobného procesu na diaľku prostredníctvom telefonických hovorov, prípadne videokonferenciami.

V priebehu mesiaca máj 2020 začalo dochádzať k uvoľňovaniu reštriktívnych opatrení, spolu s udeľovaním výnimiek pre vybraných zamestnancov, čím sa situácia začala postupne stabilizovať a vracaf sa k normálnemu systému.

V prvej polovici júna 2020 boli dokončené betonáže horných klenieb oboch razených častí tunelových rúr – posledná horná klenba razenej časti v STR bola zabetónovaná 8. 6. 2020 a potom posledná horná klenba jedného z priečných prepojení bola zabetónovaná 25. 6. 2020. Následne po vybraných úsekoch budú betónové povrchy horných klenieb omývané tlakovou vodou a natierané predpísaným epoxidovým náterom.

V oboch tunelových rúrach samozrejme prebiehajú aj ďalšie

THE SLOVAK REPUBLIC

TUNNELS ON MOTORWAY NETWORK

Ovčiarsko and Žilina tunnels

The total length of the southern by-pass of the town of Žilina from Hričovské Podhradie to Lietavská Lúčka amounts to 11.320km. The by-pass begins in Hričovské Podhradie at the intersection of the D1 and D3 motorways and ends at the location of the connection to the planned Lietavská Lúčka intersection and, in this intersection, connection to the Lietavská Lúčka – Žilina link road. The Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka section of the D1 motorway is one of the most difficult sections, which will lead largely on above-ground viaducts and through two tunnels (2367m long Ovčiarisko tunnel and 687m long Žilina tunnel).

The builder and, at the same time, the administrator of the motorway section and the two tunnels is Národná diaľničná spoločnosť, a.s. (National Highway Company). The completion of the construction of the D1 motorway near Žilina will create conditions for easing the traffic on the I/18 and I/64 roads, which fact will significantly contribute to reduction of negative impacts of traffic on the living environment in the town of Žilina and the municipality of Lietavská Lúčka.

The construction of both tunnels is in the final phase, the construction work itself has been finished, technical and technological details are being completed, the snagging works continue and, at the same time, the connection of the whole D1 motorway section between Hričovské Podhradie and Lietavská Lúčka to the Žilina link road at the intersection in Lietavská Lúčka is being intensely worked on. The deadline assumed for handing the section in question over to the motoring public is the end of 2020.

The contractor for the construction of the Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka section of the D1 motorway is the Ovčiarsko Consortium (Doprastav, a.s. – Consortium leader), Váhostav-SK, a.s. – 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 northern tunnel tube and 2244.0m long southern tunnel tube.

The work operations in the past monitoring period were affected by the COVID-19 disease pandemic and by the restrictive measures associated with the disease ordered by the Slovak government. It was a new, hitherto not experienced situation for all participants in the construction process. The contractor was undertaking all steps and measures to keep the construction course as little affected as possible. Because of the fact that a Czech construction company (Metrostav a.s.) is the contractor for the Prešov tunnel construction and its Czech nationality employees could not present themselves physically in connection with the risk of spreading of coronavirus contagion for the duration of the measures announced by the Government of the Slovak Republic, respectively Úrad Verejného Zdravotníctva SR (the Public Health office of the SR), shifting of production capacities and the types of construction work were adapted and managers tried to manage the production process remotely through telephone calls or videoconferences.

During May 2020, restricting measures began to be relaxed together with giving exceptions for selected employees. As a result,



Obr. 5 Betonáž hĺbeného tunela na východnom portáli tunela Prešov
Fig. 5 Concreting the cut-and-cover tunnel at the eastern portal of the Prešov tunnel

stavebné práce – betonáže spádových betónov pod konštrukčné vrstvy vozovky, ukladanie obrubníkov a štrbinových žlabov, betonáž kabelovodov tak, aby boli vybrané úseky postupne odovzdávané zhotoviteľovi technologickej časti na inštaláciu káblových vedení. Stavebné práce taktiež prebiehajú aj v priečných prepojeniach, kde sa realizujú steny technologických miestností a deliacej steny v oboch krčkoch priliehajúcich k príslušným tunelovým rúram.

V neposlednom rade sa realizujú aj práce na hĺbených častiach tunelov (obr. 5). K začiatku júla 2020 je dokončený hĺbený úsek STR na východnom portáli a aktuálne sa uskutočňujú stavebné práce na betonáži blokov JTR na západnom portáli.

Stavbu juhovýchodného obchvatu mesta Prešova realizuje Združenie D1 Prešov (EUROVIA SK a.s., EUROVIA CS a.s., Doprastav a.s., Metrostav a.s., Metrostav Slovakia a.s.), tunel Prešov realizuje spoločnosť Metrostav a.s. Predpokladaný termín odovzdania stavby motoristickej verejnosti je v druhej polovici roku 2021.

Tunel Bikoš

Tunel Bikoš s dvomi rúrami a dĺžkou 1155 m je súčasťou 4,3 km dlhého úseku rýchlostnej cesty R4 Prešov, severný ochvat, I. etapa, budovaná v plnom profile.

Razenie oboch tunelových rúr od severného portálu tunela sa začalo v priebehu mája 2020, pričom slávnostné začatie prác za účasti predstaviteľov štátnych a miestnych inštitúcií sa konalo 5. júna 2020. Fotoreportáž zo slávnostného začatia prác je súčasťou tohto čísla časopisu. Začiatkom júla 2020 raziace práce pokračujú v oboch tunelových rúrach.

Zhotoviteľom stavby je združenie spoločností Váhostav-SK, a.s. a TuCon, a.s. Predpokladané ukončenie rýchlostnej cesty a jej uvedenie do prevádzky sa očakáva na jar 2023.

Tunel Čebrať

Súčasťou diaľničného úseku D1 Hubová – Ivachnová bude dvoj-rúrový tunel Čebrať s dĺžkou 3680 m. V 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 v polovici roku 2020 ešte stále práce

the situation started gradually to stabilise and return to the normal system.

Concreting of upper vaults of both mined parts of the tunnel tubes was finished in the first half of June 2020 – the last upper vault of the mined part in the NTT was concreted on 8th June 2020 and the last upper vault of one of the cross passages was concreted later on 25th June 2020. Concrete surfaces of the upper vaults will be subsequently, section by section, washed with high pressure water and be provided with the prescribed epoxy coating.

Of course, other construction operations – concreting the sloped layers under structural courses of the roadway pavement, laying kerbs and slotted drains and concreting cable ducts are ongoing in both tunnel tubes so that the selected sections could be step-by-step handed over to the contractor for tunnel equipment for the installation of cable lines. The construction work also continues in cross passages, where walls of technical rooms are being carried out and dividing walls are being built in both necks adjacent to the respective tunnel tubes.

Last but not least, the work on the cut-and-cover parts of the tunnels is also being carried out (see Fig. 5). As of the beginning of July 2020, the cut-and-cover section of the NTT at the eastern portal has been finished and the construction work on concreting the STT blocks at the western portal is currently underway.

The contractor for the construction of the southeastern by-pass of the town of Prešov is the Združenie D1 Prešov consortium (EUROVIA SK a.s., EUROVIA CS a.s., Doprastav a.s., Metrostav a.s., Metrostav Slovakia a.s.), with Metrostav a.s. in the position of the contractor for construction of the Prešov tunnel. The deadline for handing the construction over to the motoring public is assumed to be in the second half of 2021.

Bikoš tunnel

The 1155m long, twin-tube Bikoš tunnel is part of the 4.3km long section of the R4 Prešov, northern by-pass, stage I fast highway project. The tunnel will be excavated using the full-face excavation technique.

The excavation of both tunnel tubes from the northern portal of the tunnel started in May 2020. The ceremonial commencement of the work operations, held with representatives of state and local institutions present, took place on 5th June 2020. The picture report from the ceremonial commencement of the work is part of this journal issue. At the beginning of July 2020, the work continues in both tunnel tubes.

The contractor for the construction is a consortium formed by the companies of Váhostav-SK, a.s., and TuCon, a.s. The completion of the fast highway and its opening to traffic is expected in spring 2023.

Čebrať tunnel

The 3680m long Čebrať double-tube tunnel will be part of the Hubová – Ivachnová section of the D1 motorway. Extensive problems with the stability of the area at the western portal of the Čebrať tunnel and the linking sections of the motorway were diagnosed in recent months. They required 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 in the middle of 2020 and only the Geological Task project is being implemented.

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, ktorý 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.

V polovici roku 2019 boli práce na tuneli ako aj na súvisiacom diaľničnom úseku ukončené na základe dohody medzi objednávateľom, Národnou diaľničnou spoločnosťou a zhotoviteľom, združením Salini Impregilo – Dúha. Koncom januára 2020 bolo vyhlásené verejné obstarávanie prác súvisiacich s pokračovaním a dokončením stavby diaľnice, pričom tieto zahŕňajú aj dokončenie stavebnej časti tunela Višňové. Výber zhotoviteľa je realizovaný formou súťažného dialógu, pričom jeho ukončenie je možné očakávať pravdepodobne v prvej polovici roku 2021.

*Ing. VLADIMÍR ĎURŠA, Doprastav, a.s.,
Ing. JIŘÍ BŘICHŇÁČ, Metrostav a.s.,
Slovenská tunelárska asociácia*

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 forty months lasting excavation. Concreting the secondary lining has been finished on over 60% of the tunnel length.

In the middle of 2019, the work on the tunnel and the associated motorway section was terminated on the basis of an agreement between the project owner, the National Highway Company and the contractor, the Salini Impregilo – Dúha consortium. At the end of January 2020, the public procurement was announced for the work associated with the continuation and completion of the motorway construction project. The work comprised even the completion of construction parts of the Višňové tunnel. The selection of the contractor is carried out in the form of a competitive dialogue; its conclusion can be expected probably during the first half of 2021.

*ING. VLADIMÍR ĎURŠA, Doprastav, a.s.,
ING. JIŘÍ BŘICHŇÁČ, Metrostav a.s.,
Slovak Tunnelling Association*



*Obr. 6 Montáž železničného zvršku a technológie v tuneli Diel
Fig. 6 Installation of trackwork and equipment in the Diel tunnel*



Obr. 7 Konečné terénne úpravy na portáli únikovej štôlne tunela Diel
Fig. 7 Final terrain finishes at the portal of the Diel tunnel escape gallery

ŽELEZNIČNÉ TUNELY DIEL A MILOCHOV

Tunel Diel

Tunel Diel prechádza masívom vrchu Diel, ktorý tvorí centrálnu časť meandru Váhu v oblasti Nosickej priehrady. Tunel je navrhnutý v dĺžke 1082 metrov. Rázanie 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 toku Váhu v oblasti Nosickej priehrady. Tunel Diel má prerazenú únikovú štôľňu, ktorá ústí do priestoru východného portálu tunela.

Tunelová rúra je po stavebnej stránke dokončená. Vo vnútri prebiehajú práce na zhotovení koľajového zvršku (obr. 6), zaťahajú sa káble silnoprúdu a slaboprúdu, inštaluje sa prevádzkové osvetlenie. Na suchovode sa osádzajú vzdušníky. Po realizácii zvršku sa natiahne trakčné vedenie a nainštalujú sa bezpečnostné držadlá s integrovanými LED svetidlami. Na záver sa na povrch ostenia zhotovia bezpečnostné značenia.

Úniková štôľňa je stavebne tesne pred dokončením (obr. 7). Chýbajú požiarne dvere, ktoré sú vo fáze výroby. V štôľni sa inštaluje osvetlenie a vyžarovací kábel pre rádiospojenie. Finalizuje sa príprava montáže vzduchotechniky.

Na západnom portáli tunela bol dokončený technologický domček, do ktorého sa postupne inštalujú prvky a súčasti jednotlivých technológií na riadenie a obsluhu tunela. Hlavné práce na celkovom stvárnení portálu boli ukončené. Potrebne je ešte osadiť bezpečnostné zábradlia a dopojiť odvodňovacie žľaby do horských vpustov.

Na východnom portáli sa technologický domček menších rozmerov ako na západnom portáli postupne naplňa rozvážacími

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 was driven through the massif under the Nimnica spa. The western portal is located on the outskirts of the municipality of Nimnica; the eastern portal is being constructed in the wooded area above the II/507 secondary road leading from Púchov to Považská Bystrica along the right bank of the Váh River, in the area of the Nosice dam. The Diel tunnel has got the escape gallery breakthrough finished. The gallery has its exit in the area of the eastern portal of the tunnel.

As far as the civil engineering part is concerned, the tunnel tube has been completed. Inside the tunnel, the work on the trackwork is underway (see Fig. 6), heavy current and weak current cables are being pulled into cableways, operating lighting is being installed. Air relieve valves are being installed on the dry water main. After completion of the trackwork, the power catenaries and safety handles with integrated LED lamps will be installed. At the end, safety signs will be carried out on the surface of the lining.

The civil engineering part of the escape gallery is just before completion (see Fig. 7). Fire-check doors are still missing. They are in the phase of production. The lighting and the radiating cable for radio communications are being installed in the gallery. The preparation of the installation of ventilation equipment is being finalised.

At the western portal of the tunnel, the service house has been finished and elements and parts of individual items of equipment for management and operation of the tunnel are step-by-step installed in it. The main work on overall shaping of the portal has been finished. It is still necessary to install safety handrails and finish the connections of ditch drainage blocks to mountain gullies.



Obr. 8 Konečné terénne úpravy na portáli únikovej štôlne tunela Diel
Fig. 8 Final terrain finishes at the portal of the Diel tunnel escape gallery

a inou technológiou. V rámci konečných terénnych úprav (obr. 8) sa dokončil okolo hĺbeného tunela „sarkofág“ tvorený vystuženou zeminou a lícnymi prvkami zo zvarovaných gabiónov. Portálové steny sa obkladajú gabiónovými matracmi tak, aby vo finále celý portál pohľadovo ladil ako celok a aj s okolitou prírodou.

Koncom septembra tohto roku by tunelom mal prejsť prvý vlak.

Tunel Milochovo

Na prekľutie úpätia vrchu Stavná, južne od miestnej časti Horný Milochovo mesta Považská Bystrica, je navrhnutý nový tunel Milochovo. Projektovaná dĺžka tunela je 1861 m. Tunel má jednu únikovú štôľňu, ktorá vyúsťuje v obci Horný Milochovo.

Raziace práce zo západného portálu sú ukončené. Vyrazených je 115 metrov v kalote a na celý profil tunela 105 m (obr. 9).

Razenie z východného portálu pokračuje prácami v dvoch úrovniach: v kalote a v stupni. Raziace práce prebiehajú tak, aby sa čelby od seba nevzdialili na predpísanú vzdialenosť určenú projektom pre každú vystrojovaciu triedu zvlášť. Ku dnešnému dňu (2. 7. 2020) bolo v kalote vyrazených 1474 metrov a v stupni, resp. dne 1414 metrov. Raziace práce boli z dôvodu nadmerného nadvýlomu spôsobeného tektonickou poruchou a prítomnosťou väčšieho objemu podzemnej vody spomalené.

At the eastern portal, the service house with the dimensions smaller than those at the western portal is being gradually filled with switchboards and other equipment. A “sarcophagus” formed by reinforced soil and welded gabion facing elements has been finished around the cut-and-cover tunnel within the framework of final terrain finishes (see Fig. 8). The portal walls are being clad in gabion mats so that the view of the portal matches as a whole even the surrounding nature.

The first train should pass through the tunnel at the end of September 2020.

Milochovo tunnel

The new Milochovo tunnel is designed for overcoming the bottom of Stavná hill south of the municipal district of Horný Milochovo of the town of Považská Bystrica. The tunnel length design amounts to 1861 metres. The tunnel will have one escape gallery ending in the municipality of Horný Milochovo.

The tunnel excavation from the western portal has been finished. Excavation of 115 metres in the top heading and 105 metres of full-face excavation has been finished (see Fig. 9).

The tunnel excavation from the eastern portal continues by working at two levels: at the calotte and the bench. The excavation proceeds with the distances between faces not exceeding the distance prescribed by the design separately for each excavation support class. As of this day (2nd July 2020), 1474 metres of the top heading excavation and 1414 metres of the bench excavation

Približne 30metrový úsek sa musel vyraziť pod mikropilóto-vým dáždnikom. Do prerážania tunela chýba približne 177 metrov. Predpokladaná prerážka sa odhaduje na začiatok septembra 2020.

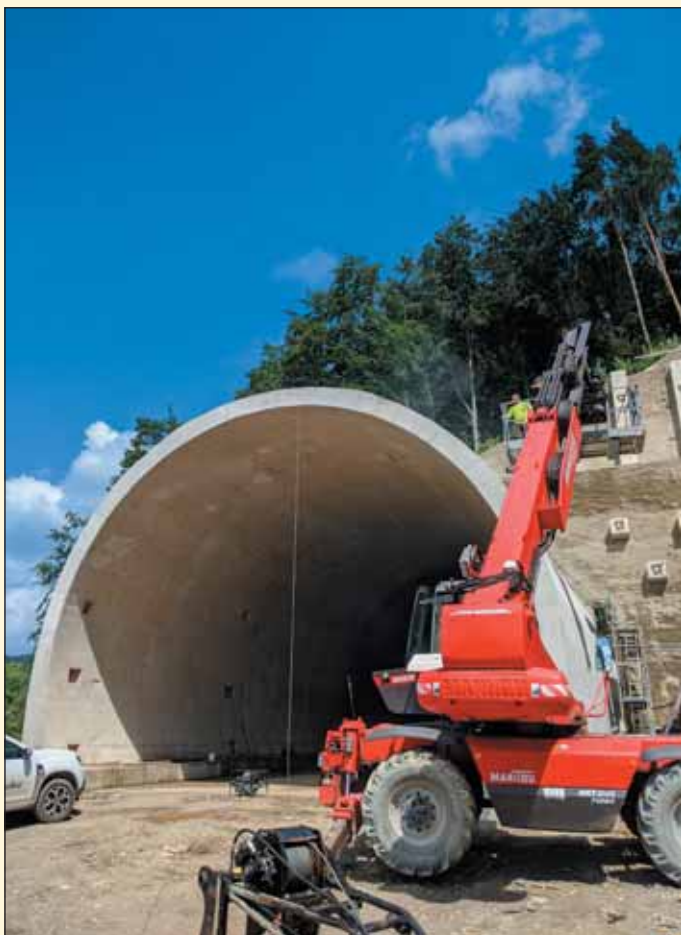
V polovici júla 2020 bola prerazená úniková štôľňa (obr. 10). Prerážka prebehla zvonku z portálu situovaného v obci Horný Milochov. Momentálne sa upravuje dno štôľne pre možné využitie pri zásobovaní tunela počas betonárskych prác na sekundárnom ostení tunela.

Na východnom portáli tunela boli zrealizované 4 základové dosky pre hĺbený tunel, ktorý sa skladá so siedmich 10metrových blokov. Ostatné 3 bude možné dorobiť až po prerážke tunela, a to z dôvodu, aby nebol prerušený prístup do tunela počas raziacich prác.

Na západnom portáli bol vybetónovaný hĺbený tunel, ktorý sa skladá z dvoch blokov. Pripravuje sa jeho povrchová izolácia a následne sa bude obaľovať obdobným „sarkofágom“ z vystuženej zeminy a lícných gabiónov, ako bol použitý na tuneli Diel.

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.*



*Obr. 9 Hĺbený tunel na západnom portáli tunela Milochov
Fig. 9 Cut-and-cover tunnel at the western portal of the Milochov tunnel*

have been finished. The excavation operations were slowed down because of an excessive overbreak caused by a tectonic fault and the presence of a larger volume of groundwater. An approximately 30m long section had to be excavated under a canopy tube pre-support. About 177 metres remain to the tunnel breakthrough. The breakthrough is expected at the beginning of September 2020.

The escape gallery was broken through in the middle of July 2020 (see Fig. 10). The breakthrough was carried out from the outside, from the portal located in the municipality of Horný Milochov. The gallery bottom is currently treated for possible use in supplying the tunnel during the course of concrete casting work on the secondary lining of the tunnel.

At the eastern portal of the tunnel, 4 base slabs were carried out for the cut-and-cover tunnel, which consists of seven 10 metres long blocks. The completion of construction of the other 3 blocks will be possible only after the tunnel breakthrough so that the access to the tunnel during the course of tunnel excavation operations is not interrupted.

At the western portal of the tunnel, concreting of the cut-and-cover tunnel structure consisting of two blocks has been finished. The surface waterproofing is being prepared and the structure will be wrapped with a “sarcophagus” formed by reinforced soil and facing gabions, similar to the “sarcophagus” used at the Diel tunnel.

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 the project owner, Železnice Slovenskej Republiky (Slovak Railways), is the company of REMING CONSULT a.s.

Ing. JÁN KUŠNÍR, REMING CONSULT a.s.



*Obr. 10 Úniková štôľňa tunela Milochov
Fig. 10 Milochov tunnel escape gallery*

Z HISTORIE PODZEMNÍCH STAVEB FROM THE HISTORY OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

POHLEDNICE S TUNELY ZA OCEÁNEM II PICTURE POSTCARDS WITH TUNNELS BEHIND THE OCEAN II

One whole part dedicated to picture postcards showing solely tunnels “behind the great puddle” was already published in TUNEL issue No. 2/2018. The current continuation covers the following six picture postcards with tunnels behind the ocean – one from Brazil, one from Canada and four from the USA. In the list of purposes of the presented tunnels there are two urban tunnels, one motorway tunnel, one railway tunnel, one tunnel for underground railway passing under a mighty river. The last picture postcard represents a very interesting structure referred to in the original as an arch/vault, nevertheless having obvious character of a false tunnel in the environment of an urban park.

Již v Tunelu 2/2018 byl v tomto seriálu celý jeden díl věnovaný pohlednicím výhradně s tunely za „velkou louží“. V aktuálním pokračování jde o následujících šest pohlednic s tunely za oceánem – jedna je z Brazílie, jedna z Kanady a čtyři z USA. Ve výčtu určených prezentovaných tunelů se pak jedná o dva tunely městské, po jednom dálničním, železničním a také podzemní dráhy pod mohutnou řekou. Poslední pohlednice představuje velice zajímavou stavbu označovanou v originále jako klenba/oblouk, nicméně mající zřetelný charakter (přesypaného) tunelu v prostředí městského parku.



Obr. 1 Tunel 9. července v São Paulo. Fotolabor S. Paulo -51-. Okolo 1955? [sbírka autorů]

Na pohlednici je noční pohled na osvětlený jižní portál tunelu.

Fig. 1 9th July Tunnel in São Paulo. Photolabor S. Paulo -51-. About 1955? [authors' collection]

The postcard presents a night view of the illuminated southern portal of the tunnel.

Tunel 9 de Julho v São Paulo

Dopravně-urbanisticky velmi významný automobilový „Tunel 9. července“ (Túnel 9 de Julho) v São Paulu (obr. 1) je hlavní spojnicí centra města s jeho jižními čtvrtěmi (spojení Centro – Bairro). Překonává výrazný kopec Avenida Paulista s Parkem Tri-

anon a s objektem MASP (Muzea umění São Paulo). Podchází také linku 2 místního metra.

Tunel je dlouhý 450 m, má dvě trouby, každou se dvěma jízdnicemi pruhy a chodníkem pro pěší. Jeho stavba byla zahájena v lednu 1937, slavnostní otevření připadlo na 23. 7. 1938. Výstavba přišla na 17,192 mil. v dobové brazilské měně „Réis“.

Původní pojmenování tunelu (i hlavní Avenidy 9 de Julho) připomínalo významný den ústavní revoluce v r. 1932. Roku 2001 byl tunel přejmenován na „Túnel Daher Elias Cutait“ podle významného brazilského lékaře a pedagoga (1913–2001), nicméně tento název se obecně neujal. Současné komentáře hovoří o špatném technickém stavu objektu. [1, 2]



Obr. 2 Portál Blue Mt. Tunelu. Pensylvánská mýtná silnice (Pennsylvania Turnpike) – „Největší dálnice světa“. Postcard Johnson Publishing Department, Bedford, Pa. 1969. [sbírka autorů]

Východní vjezd do tunelu Blue Mt. (dlouhého 4 339 ft.). Je to první ze sedmi tunelů, kterými Pennsylvania Turnpike prochází na západ přes sedm hřebenů Appalačských hor. Nejdelší z těchto tunelů je více než jednu míli dlouhý.

Na pohlednici je východní portál tunelu Blue Mountain. Poněkud komicky však působí označení této silniční trasy na pohlednici za „Největší dálnici světa“.

Fig. 2 Blue Mt. Tunnel portal. Pennsylvania Turnpike – „World's greatest motorway“. Postcard Johnson Publishing Department, Bedford, Pa. 1969. [authors' collection]

Eastern entrance to Blue Mt. Tunnel (4339 ft. long), first of seven tunnels by which the Pennsylvania Turnpike passes westward through seven ranges of the Appalachian Mountains, the longest of which is over a mile in length.

On the postcard is the eastern portal of the Blue Mt. tunnel. Some what comical can seem to be the marking of this route on the postcard as "The biggest highway of the world".

Tunel Blue Mountain v Pensylvánii

V časopisu Tunel č. 3/2016 byla v tomto seriálu uvedena pohlednice s tunely nazývanými „Dvojčata“ („Twin Tunnels“). Jedná se o tunely Blue Mountain a Kittatinny v Pensylvánii. Oba tunely přitom rozděluje výrazné, jen cca 180 m široké, údolí Gunter Valley.

Pennsylvanská mýtná silnice (Pennsylvania Turnpike) byla dítětem Velké hospodářské krize a je jistou předchůdkyní systému federálních dálnic. Původně (tj. od roku 1940) se na ní nacházelo 7 tunelů. Všechny byly jednotroubové, obousměrné, s jedním jízdním pruhem pro každý směr. V šedesátých letech 20. stol. byly při úpravách trasy této silnice 3 z těchto 7 tunelů opuštěny.

„Twins“ – tj. Kittatinny a Blue Mountain se na této trase nacházejí nejvýchodněji. Tunel Blue Mountain – obr. 2 – je pak, s délkou 1 323 m, nejkratším ze zbývajících čtyř provozovaných.

V roce 1967 byly u obou tunelů otevřené pro provoz další trouby s tím, že původní byly opravené, a automobilový provoz je tudíž nyní ve všech, dnes již dvouprůdých, tunelech, jednosměrný. [3]



Obr. 3 Přjezd k tunelu Fort Pitt s pohledem na západní svah Mt. Washington. Imperial Greeting card Co., Pittsburg, Pa. 1971. [sbírka autorů]

Na pohlednici je „horní“ patro východního portálu tunelu s výstupem na dvoupodlažní most Fort Pitt Bridge. Deník N. Y. T. dobově označil tento výjezd jako „nejlepší vstup do amerického města“.

Fig. 3 Approach to Fort Pitt Tunnel driving west view of Mt. Washington can be seen above the Tunnel. Imperial Greeting card Co., Pittsburg, Pa. 1971. [authors' collection]

The picture postcard shows the „upper“ level of the eastern portal of the tunnel with the exit to the double-deck Fort Pitt Bridge. The N. Y. T. daily newspaper described this exit as “the best entrance to an American city”.

Tunel Fort Pitt v Pittsburgu

Jedním ze čtyř tunelů pod kopcem Mt. Washington v Pittsburgu (Pensylvánie) je Fort Pitt tunel. Spojuje části města West End (na JZ) a South Shore (na SV) a současně napojuje Pittsburg na dálniční systém USA Interstate.

Tunel má dvě trouby, každou se dvěma jízdními pruhy a nouzovým chodníkem. Vyznačuje se velmi nestandardním řešením východních portálů, které jsou výrazně vertikálně odsazené při výjezdu na dvoupodlažní most Fort Pitt Bridge – obr. 3.

Tunel je dlouhý 1 102 m, jeho ražby byly zahájeny 28. 8. 1957 a pro dopravu byl otevřen 1. 9. 1960. Náklady na stavbu činily 17 mil US \$ (ekvivalent 2019 – cca 147 mil. \$). Vedle řady dalších pokrokových prvků byl tunel vybavený jako vůbec první na světě TV sledováním provozu. V letech 1993 až 2003 proběhla jeho rozsáhlá stavební i technologická rekonstrukce. Zvažuje se také projekt rozšiřující systém o dvě další tunelové trouby. [4, 5]

Tunely McAdoo v New Yorku

Pohlednice přibližující podzemní dráhu pod řekou Hudson v N. Y. byly v tomto seriálu prezentované již v Tunelu č. 1/2015 a 2/2018. Pro stručné zopakování: „Uptown Hudson Tubes“ (též McAdoo Tunnels) je místní název pro dva tunely městské dráhy pod řekou Hudson pro spojení Manhattanu v N. Y. (na východě) s Jersey City v N. J. (na západě). Představují tak historicky první ne-lodní spojení mezi Manhattanem a Jersey City.



Obr. 4 McAdoo tunel New York. Kolorovaná fotografie. McGown – SILSBEE LITHO. Co. Publishers, New York. 1923. [sbírka autorů]

Krásná ukázka ostění provedeného z litinových tubingů. Pohlednice je adresovaná Dr. Ing. Otto Theimerovi do Brna. Dr. Ing. Otto Friedrich Theimer ukončil roku 1922 studia na německé Technice v Brně a zde také působil 1922–1924 a 1929–1932 jako asistent na Ústavu železničního stavitelství. V letech 1924–1928 absolvoval studijní pobyt v USA.

Fig. 4 The McAdoo Tunnel New York. Coloured photo. McGown – SILSBEE LITHO. Co. Publishers, New York. 1923. [authors' collection]

A nice example of a tunnel lining formed by cast iron segments. The picture postcard is addressed to Dr. Ing. Otto Theimer to Brno. Dr. Ing. Otto Friedrich Theimer graduated at the German Technical University in Brno in 1922 and worked in the position of assistant in 1922–1924 and 1929–1932 in Brno in Ústav Železničního Stavitelství (Institute of Railway Engineering). In 1924–1928 he completed a study stay in the USA.

První pokus o výstavbu těchto tunelů připadá na léta 1873–1883. Práce probíhaly pneumatickým ražením, bez štítu. V červenci 1880 došlo k průtrži, při které zahynulo 20 tunelářů. Stavební společnost nakonec skončila úpadkem. Po několika dalších neúspěšných pokusech byly práce v roce 1901 převzaty společností právníka, podnikatele a poté i politika Williama G. McAdoo. S nasazením pneumatického štítu byly pak tunely proraženy v r. 1907 a pro osobní dopravu otevřeny o rok později, a to jako součást Hudson & Manhattan Railroad. Od roku 1962 až dodnes náleží tunely k dopravnímu systému PATH (Port Authority Trans-Hudson), obsluhujícímu sídelní aglomeraci N. Y. Tunelové trouby mají délku 1 500, resp. 1 720 m, a výškově se nacházejí cca 30 m pod střední hladinou řeky. Ø jižního tunelu se udává 4,65 m, Ø severního (raženého jako první) potom 5,5 m (obr. 4).

Roku 1978 byly tyto tunely prohlášený „Národní kulturní památkou inženýrského stavitelství“. [6]

Oblouk Eastwood v Brooklynu

Vyhlídkový park (Prospect Park) v Brooklynu N. Y. je rozlohou 523 ha druhým nejrozsáhlejším parkem v této části města. Ve své konečné rozloze byl otevřen v roce 1873, jeho poslední zásadnější úpravy proběhly v 90. letech 20. stol. V parku se nachází značné množství entit – jezero plochy 24 ha, mnoho kulturních, společenských, sportovních a dalších veřejných zařízení a dokonce i soukromý hřbitov.... Od roku 1975 je park „Vyhlídkovou památkou N. Y.“, a roku 1980 byl zapsán do „Národního registru historických míst“.

V parku je také 12 technických objektů označovaných jako „mosty, resp. oblouky/klenby“ (Bridge or Arch). Z nich 4 mají zřetelný charakter (přesypaných) tunelů. Posledním uváděným je, a podle pozice na východní straně parku pojmenovaný, Eastwood Arch (obr. 5). Nachází se na parkové cestě pod East Drive, východně od Binnen Falls a západně od vstupu Willink z Flatbush. Byl postavený z pískovce v letech 1867–1868, jeho délka je cca 25 m a spolu s Endale Arch je nejstarším obloukem/klenbou Prospect Parku. [7, 8]



Obr. 5 Přijezdová cesta a pěšina ve Vyhlídkovém parku, Brooklyn, N. Y. Publ. By Souvenir post Card Co. New-York. Made in Germany. 1928. [sbírka autorů]

Podle Wikipedie lze na architektuře Eastwood Bridge, nejstaršího oblouku Prospect Parku, pozorovat syrsko-egyptský vliv.

Fig. 5 Driveway and Path in Prospekt Park, Brooklyn, N. Y. Publ. By Souvenir post Card Co. New-York. Made in Germany. 1928. [authors' collection]

It is possible according to Wikipedy to notice Syrian-Egyptian influence on the architecture of the Eastwood Bridge, the oldest arch in the Prospect Park.

Smyčkové tunely na Kanadské pacifické železnici

Kanadská pacifická železnice (Canadian Pacific Railway – CPR) je považovaná za významný faktor pro vznik samotné Kanady jako státu. Umožnila transkontinentální spojení Montrealu (Québec) na východě s Vancouverem (Britská Kolumbie – B. C.) na západě země. Její základ byl postavený v letech 1881–1886, při původní délce 4 633 km. Dnes pak disponuje dopravní společností CPR 22 500 km tratí, zajíždí i do velkých měst v USA a přepravuje zejména zboží. Logem instituce je bobr.

Dráha využívá k provozu přirozeně i řadu tunelů. Prvním kanadským železničním tunelem na CPR byl tunel Brockvil v Ontariu, proražený 1854–1860 v délce 527 m, dnes sice již nepoužívaný, ale zachovaný jako technická památka. Nejdelším tunelem



Obr. 6 Katedrálová hora (Cathedral Mountain), Britská Kolumbie, Kanada. Publ. Natural Color Productions Ltd. Richmond, B. C., Canada V6V 1Y8. Photo: Courtesy of Canadian Pacific. Okolo 1970. [sbírka autorů]. Tento dramatický snímek byl pořízený z železničního tunelu procházejícího úpatím pohoří.

Vlak vjíždí do horního/jižního portálu Dolního smyčkového tunelu (Lower Spiral Tunnel), aby po jeho projetí záhy dosáhl železniční stanice Field. Zajímavý je profil tunelu – pro evropské dráhy nestandardní zaklenutý obdélník. Nad lokomotivou se vypíná mohutný štít Cathedral Mountain (3 189 m n. m.), nejvyšší hory v národním parku Yoho v okrese Columbia-Shuswap (B. C.).

Fig. 6 Cathedral Mountain. British Columbia, Canada. Published by Natural Color Productions Ltd. Richmond, B. C., Canada V6V 1Y8. Photo: Courtesy of Canadian Pacific. About 1970. [authors' collection] This dramatic view was taken from one of the railway tunnels cutting through the base of the mountain.

Train entering the upper/southern portal of the Lower Spiral Tunnel to reach Field Station soon after passing it. The tunnel profile is interesting – rectangle is non-standard in the conditions of European rail tracks. The mighty Cathedral Mountain peak (3189m a.s.l.), the highest mountain in Yoho National Park in the district of Columbia –Shuswap (B. C.), rises above the locomotive.

železnice CPR a vůbec nejdelším v Severní Americe je pak tunel Mount McDonald v pohoří Selkirk v B. C. postavený v letech 1984–1988 v délce 14 700 m.

Technicky mimořádně zajímavým souborem liniových podzemních staveb CPR je dvojice tzv. „Smyčkových tunelů“ (Lower and Upper Spiral Tunnel). Oba tunely jsou jednokolejné, byly dokončeny v roce 1909 a umožnily snížit max. stoupání trati mezi městem Field a průsmykem Kicking Horse v B. C. na přijatelných 22 ‰. Dolní smyčkový tunel (obr. 6) měří 891 m a pokrývá

360° spirály, Horní smyčkový tunel měří pak 992 m v půdorysu ¾ úplné spirály. Délka trati mezi oběma tunely se udává přesně na 1 míli (1 610 m). [9, 10, 11]

*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] Túnel 9 de Julho [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné na internetu <https://pt.wikipedia.org/wiki/T%C3%BAnel_9_de_Julho>
- [2] Localização dos túneis e passagens subterrâneas de São Paulo [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné na internetu <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/obras/obras_viarias/tuneis/index.php?p=7890>
- [3] Blue Mountain Tunnel [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné na internetu <https://en.wikipedia.org/wiki/Blue_Mountain_Tunnel>
- [4] Fort Pitt Tunnel [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné na internetu <https://en.wikipedia.org/wiki/Fort_Pitt_Tunnel>
- [5] The Fort Pitt Tunnels [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné na internetu <<http://www.brooklineconnection.com/history/Facts/FtPittTunnels.html>>
- [6] Uptown Hudson Tubes [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné na internetu <https://en.wikipedia.org/wiki/Uptown_Hudson_Tubes>
- [7] Prospect Park (Brooklyn) [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné na internetu <[https://en.wikipedia.org/wiki/Prospect_Park_\(Brooklyn\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Prospect_Park_(Brooklyn))>
- [8] The Bridges of Prospect Park [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné na internetu <<https://translate.google.cz/translate?hl=cs&sl=en&u=https://forgotten-ny.com/2001/08/the-bridges-of-prospect-park/&prev=search>>
- [9] Canadian Pacific Railway [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné na internetu <https://cs.wikipedia.org/wiki/Canadian_Pacific_Railway>
- [10] Canadian Pacific Railway tunnels [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné na internetu <https://en.wikipedia.org/wiki/Category:Canadian_Pacific_Railway_tunnels>
- [11] Spiral Tunnels [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné na internetu <https://cs.wikipedia.org/wiki/Spiral_Tunnels>

VÝROČÍ ANNIVERSARIES

OSMDESÁTINY ZASTIHLY ING. MILOSLAVA NOVOTNÉHO NA ZASLOUŽENÉM ODPOČINKU EIGHTIETH BIRTHDAY CAUGHT ING. MILOSLAV NOVOTNÝ ON THE WELL-DESERVED REST

Titulek mého přání k významnému životnímu jubileu Míly Novotného je variací na titul přání k jeho sedmdesátinám, které bylo uveřejněno v č. 2/2010 pod názvem „Sedmdesátiny zastihly Ing. Miloslava Novotného v plném pracovním nasazení pro CzTA ITA-AITES“.

Myslím, že v naší tunelářské komunitě není asi nikdo, kdo by Ing. Novotného neznal a nepamatoval si jeho dlouhodobé a veskrze úspěšné působení v této komunitě. Nejprve jako člena předsednictva někdejšího Českého tunelářského komitétu, od roku 2005 jako



The title of my wishes to the significant anniversary of life of Míla Novotný is a variation of the wishes to his seventieth birthday which was published in TUNEL journal issue No. 2/2010 under the title “Seventieth birthday caught Ing. Miloslav Novotný eagerly engaged in working for ITA-AITES CzTA”.

I believe that there is probably nobody in our tunnelling community who would not know Ing. Novotný and remember his long-term and completely successful work in this community. In the beginning working in the position of a member of the presidium of the former Czech Tunnelling Committee, since 2005 in the position of the managing editor of TUNEL journal, which got a new, still lasting, face owing to his work and became a peer-reviewed journal with very favourable foreign responses. His nine years (2005 through to 2013) work in the position of the General Secretary of

vedoucího redaktora časopisu TUNEL, který za jeho působení dostal novou dosud trvající tvář a stal se recenzovaným časopisem s velmi příznivými zahraničními ohlasy. Jeho devítileté působení (2005 až 2013) ve funkci generálního sekretáře CzTA ITA-AITES navázalo na předchozí kvalitní úroveň asociace, zvýšilo její mezinárodní prestiž výrazně úspěšným uspořádáním pražského světového tunelářského kongresu WTC 2007 a připravilo půdu pro pokračující kvalitní činnost naší organizace.

Míla Novotný se jako vystudovaný „vodař“ během svého praktického působení podílel na výstavbě celé řady objektů vodohospodářské infrastruktury, působil při výstavbě přehrad vltavské kaskády a vzhledem ke svým schopnostem stoupal na kariérním žebříčku tehdejšího významného podniku Vodní stavby. Na začátku devadesátých let minulého století, kdy zastával funkci technického náměstka divize 5 zaměřené na výstavbu podzemních staveb menších profilů, jsme se spolu poprvé setkali. V pražské Troji byla projektována výstavba významné kanalizační stoky „F“ a současně v prostoru zoologické zahrady počáteční úsek tunelu do plánované podzemní čistírny odpadních vod. Záměr realizovat tuto stavbu v souladu s principy Nové rakouské tunelovací metody, která tehdy v ČR teprve nesměle vstupovala na scénu, svěřil Míla Novotný svým schopným podřízeným, tunelářům Ing. Jaroslavu Chabrovi a Ing. Josefovi Krátkému. K nim, jako teoretickou podporu od „vědecké fronty“, angažoval v tehdejších tunelářských kruzích poměrně známou dvojici Bucek-Barták. První dílo realizované v ranku divize 5 Vodních staveb pomocí NRTM se skvěle podařilo, zájem měli i místně příslušní obyvatelé zoologické zahrady (viz dokumentační obrázek). Odpovědní činitelé již takový zájem nesdíleli a k realizaci podzemní čistírny odpadních vod, bohužel, nedošlo. V obdobném složení pokračovala spolupráce na dalších velmi zajímavých stavbách, např. na intenzifikaci přečerpávací elektrárny ve Štěchovicích a související dostavbě na horní nádrži, na výstavbě stoky „P“ na pražském jihozápadním městě a na dalších akcích.

Dlouholeté společné působení v redakční radě TUNELU a v orgánech CzTA ITA-AITES, společná účast na tunelářských konferencích doma i v cizině, zážitky na zahraničních tematických zájezdech a mnoho osobních setkání, se staly pevným základem přátelství mezi mnou a Mílou Novotným, které trvá dodnes – velmi si ho vážím. Gratuluji proto upřímně příteli Mílovi k jeho významným narozeninám a přeji do dalších let hlavně zdraví a klidná léta zaslouženého odpočinku. To slíbené vínečko, Mílo, platí!

Myslím, že není od věci, při této neopakující se příležitosti osmdesátých narozenin, Mílovi Novotnému poděkovat za vše, co pro naše stavebnictví, tunelařinu a zejména CzTA vykonal.

5. června 2020

prof. JIŘÍ BARTÁK



Obr. 1 Místně příslušní obyvatelé zoo Praha
Fig. 1 Locally competent residents of Prague zoo

the ITA-AITES CzTA, built on the previous good-quality level of the association, increased its international prestige by organising the highly successful World Tunnel Congress WTC 2007 in Prague and prepared the ground for continuing good-quality activities of our organisation.

During his practical engagement, Míla Novotný, a graduate hydraulic engineer, participated in the construction of numerous structures for the water supply infrastructure, worked in the construction of the Vltava River Cascade and, with respect to

his skills, climbed the career ladder in the firm of Vodní Stavby, which was very important at that time. We met for the first time at the beginning of the nineties when he held the position of the chief technical officer of Division 5 focused on construction of smaller-profile underground structures. The construction of the Sewer F was under design at that time and, concurrently, the construction of the initial section of a tunnel to the sewage treatment plant was planned for the area of the Zoological Garden in the Prague district of Troja. Míla Novotný entrusted the intention of implementing this project in accordance with principles of the New Austrian Tunnelling Method, which started slowly to be used in the Czech Republic then, to his capable subordinates, tunnellers Ing. Jaroslav Chabr and Ing. Josef Krátký. He engaged the Bucek-Barták couple, relatively famous in the tunnel construction circles, to be added to them as theoretical support from the “scientific front”. The first project carried out within the rank of Division 5 of Vodní Stavby using the NATM was a great success. Even the locally relevant residents of the zoological garden were also interested (see the documentation picture). However, unfortunately, the decision makers did not share such the interest, therefore the sewage treatment plant construction project was not implemented. The collaboration on other very interesting projects, for instance, the intensification of the pumped storage power plant in Štěchovice and the related addition of structures on the upper surge reservoir, the construction of the Sewer “P” in the Southern Satellite Town and on other interesting projects, continued in a similar composition.

The long-term joint work in the editorial board of TUNEL journal and in bodies of the ITA-AITES CzTA, the joint participation in domestic and foreign tunnel construction conferences, experiences gathered in foreign thematic tours and many personal meetings have become a solid foundation of friendship between me and Míla Novotný, which continues to this day. I very much appreciate it. I therefore sincerely congratulate my friend Míla on his significant birthday and wish him, first of all, good health and peaceful years for the years to come. Mílo, the promise of our private wine party still applies!

I suppose that it is reasonable on this non-recurring occasion of the eightieth birthday to thank Míla Novotný for everything he has done for our construction industry, tunnelling and especially the CzTA.

5th June 2020

prof. JIŘÍ BARTÁK

Boomer E



Boltec E



Unigrout Smart



United. Inspired.

Profesionální řešení pro podzemní stavitelství

Boomer E – Plně automatická vrtací souprava pro ražby velkých profilů. Díky nejmodernějším technologiím přesná, výkonná a spolehlivá jako nikdy předtím. Také v provedení ZERO-EMISSION.

Boltec E – Plně automatická souprava pro instalace svorníků a kotev všech typů, včetně instalace s použitím technologie **čerpacelných pryskyřic**. Také v provedení ZERO-EMISSION.

Unigrout Smart – Plně automatický injektážní systém v kompaktním provedení. Všestranný, přesný a univerzálně použitelný.

SPOLEHLIVÉ PARTNERSTVÍ.

Minova Bohemia s.r.o. patří již 25 let k předním dodavatelům kotevní techniky, injekčních systémů, čerpací a vrtné techniky.

Nabízíme ucelené portfolio technologií a produktů prověřených řadou úspěšných realizací v České a Slovenské republice a zahraničí. Naším partnerům standardně poskytujeme technické poradenství pro řešení obtížných situací při výstavbě či sanacích všech typů objektů podzemního a pozemního stavitelství a geotechniky.

Kotvení

Utěsnění

Zpevnění

Sanace

Stabilizace