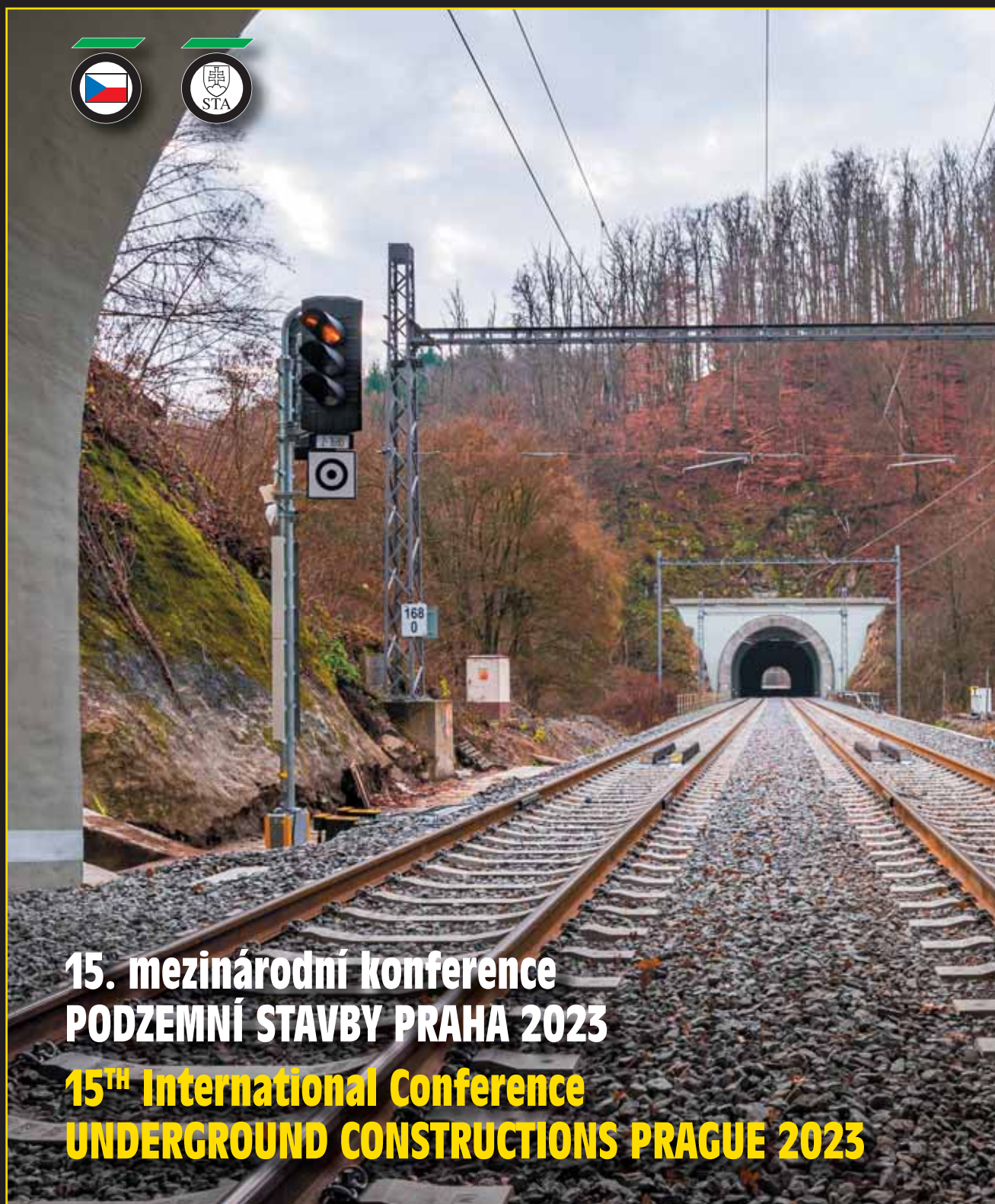


Tu nel

č. 1
2023

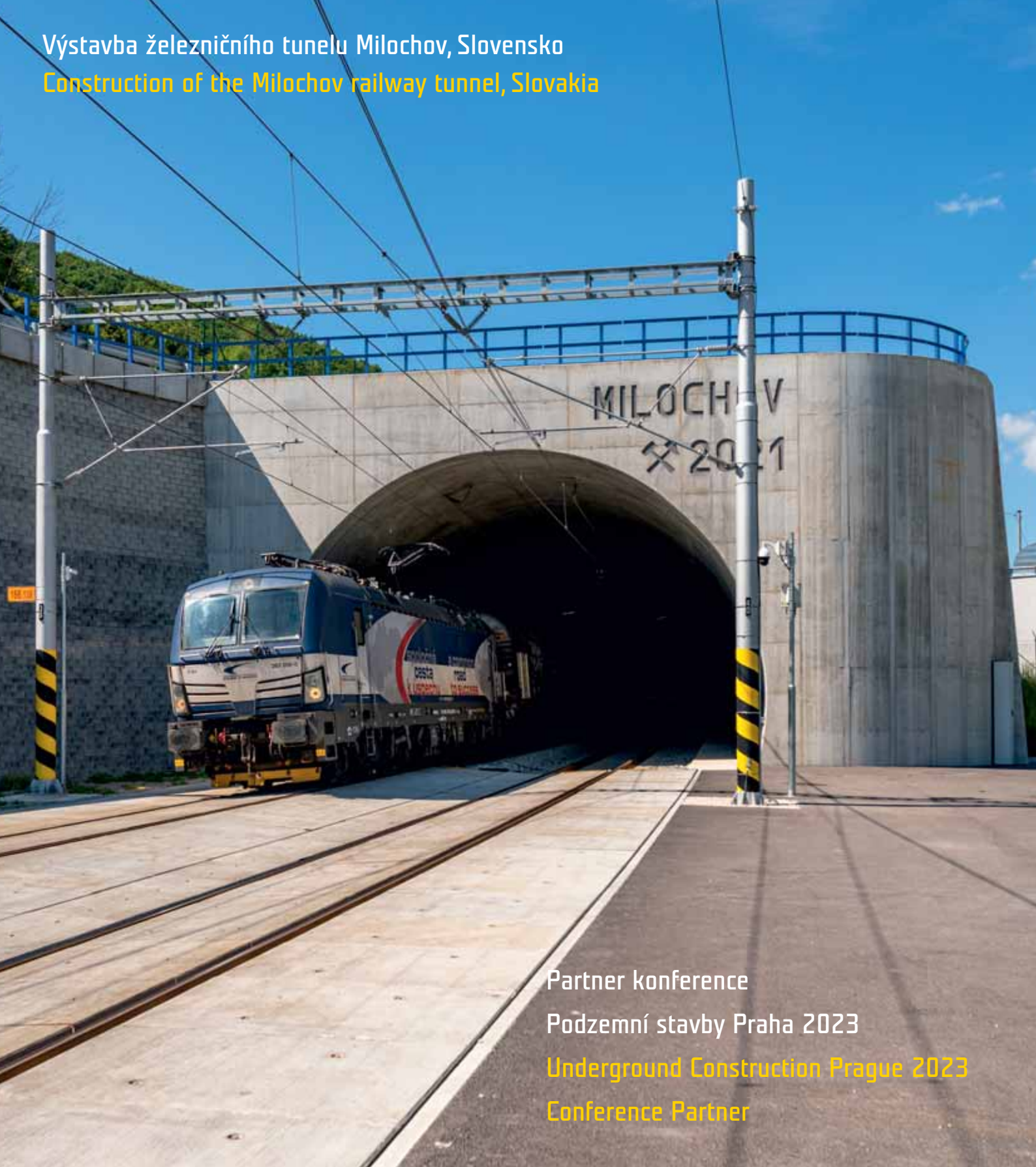
ČASOPIS ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE A SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE ITA-AITES
MAGAZINE OF THE CZECH TUNNELLING ASSOCIATION AND SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES



**15. mezinárodní konference
PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2023**

**15TH International Conference
UNDERGROUND CONSTRUCTIONS PRAGUE 2023**

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



Partner konference
Podzemní stavby Praha 2023
Underground Construction Prague 2023
Conference Partner

SUBTERRA 

Nedržíme se při zemi
Never stuck on the ground

Sledujte nás
www.subterra.cz/online



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

Obsah

Editorial: prof. Ing. Matouš Hilar, M.Sc., Ph.D., CEng., MICE, člen redakční rady	1
Úvodníky: Ing. Filip Křestán, výrobně-technický ředitel společnosti Metrostav a.s. Ing. Ondřej Fuchs, předseda představenstva a generální ředitel Subterra a.s.	2 3
Štíty na ražbách pražského metra Ing. Petr Hybský, Metrostav-TBR a.s.	4
Silniční tunel na nejjihnější Faerském ostrově Suðuroy Ing. Jiří Horčíčka, Ing. Jan Skála, Metrostav Norge AS	15
Uzel 5 Plzeň, tunelový objekt křížení železniční a silniční trasy Ing. Luděk Rajs, Ing. Tomáš Kohout, Ing. Petr Svoboda, Metrostav a.s.	23
Zajištění úseku E4 pod jezerem Mälaren ve Stockholmu Ing. Jan Faltýnek, Ph.D., MBA, EUR ING, Subterra a.s.	31
Tunel Žabovřeská – závěrečné zhodnocení pohledem zhotovitele Ing. Dalibor Stromček, Ing. Andrej Korba, Subterra a.s.	43
Rekonstrukce čtyř železničních tunelů na trati Brno-Maloměřice – Adamov Ing. Linda Černá Vydrová, Ph.D., Subterra a.s.	50
Stanovení varovných stavů pro ostění tunelů ze strikaného betonu v prvních 28 dnech výpočtem Ing. Jaromír Zlámal, POHL cz, a.s.	59
Fotoreportáž ze zahájení ražeb tunelu Fámjin na Faerských ostrovech	69
Fotoreportáž z aktuálního stavu výstavby tunelu Pohúrka na dálnici D3	70
Ze světa podzemních staveb	77
Zprávy z tunelářských konferencí	78
Aktuality z podzemních staveb v České a Slovenské republice	80
Z historie podzemních staveb	85
Výročí	90
Vzpomínka	90
Z činnosti pracovních skupin	92
Zpravodajství České a Slovenské tunelářské asociace ITA-AITES	92
Bibliografie	94

Redakční rada / Editorial Board

Čeští a slovenští členové / Czech and Slovak members

Předseda / Chairman: Ing. Boris Šebesta
Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D. – GEOTest, a.s.
Ing. Miloslav Frankovský – STA
Ing. Jan Frantl – Subterra a.s.
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
Ing. Vlastimil Horák – Amberg Engineering Brno, a.s.
doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D. – VŠB-TU Ostrava
Ing. Petr Hybský – Metrostav a.s.
RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D. – PUDIS a.s.
Ing. Viktória Chomová – STA
Ing. Otakar Krásný – GeoTec-GS, a.s.
Ing. Ján Kušnír – STA
Ing. Libor Mařík – SAGASTA s.r.o.
Ing. Soňa Masarovičová, Ph.D. – ŽU, Stavební fakulta
Ing. Miroslav Novák – METROPROJEKT Praha a. s.
doc. Dr. Ing. Jan Pruška – Stavební fakulta ČVUT v Praze
Ing. Pavel Růžička, Ph.D. – HOCHTIEF CZ a. s.

YDAVATEL

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

DISTRIBUCE

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

REDAKCE

Koželužská 2450/4, 180 00 Praha 8 – Libeň, tel.: +420 702 062 610
e-mail: pruskova@ita-aites.cz
web: http://www.ita-aites.cz
Vedoucí redaktor: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.
Odborní redaktoři: prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., doc. Ing. Dr. Jan Pruška,
Ing. Pavel Šourek, RNDr., Radovan Chmelař, Ph.D.,
Ing. Miloslav Frankovský
Grafické zpracování: Ing. Jiří Šilar DTP, Dačického 1225/8, 140 00 Praha 4
Tisk: SERIFA, s.r.o., Jionická 804/80, 158 00 Praha 5
Foto na obálce: Pohled na portál tunelu č. 3 na železniční trati Brno-Maloměřice – Adamov (zdroj fotoarchiv Subterra)

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: prof. Ing. Matouš Hilar, M.Sc., Ph.D., CEng., MICE, Member of Editorial Board	1
Ing. Filip Křestán, Chief Technical and Operating Officer of Metrostav a.s.	2
Ing. Ondřej Fuchs, Chairman of the Board and Chief Executive Officer of Subterra a.s.	3
Shields Used for Driving Prague Metro Tunnels Ing. Petr Hybský, Metrostav-TBR a.s.	4
Road Tunnel on the Southernmost Faroe Island of Suðuroy Ing. Jiří Horčíčka, Ing. Jan Skála, Metrostav Norge AS	15
Node 5 Plzeň, Tunnel Object on Intersection of Rail and Road Routes Ing. Luděk Rajs, Ing. Tomáš Kohout, Ing. Petr Svoboda, Metrostav a.s.	23
Stabilisation of the E4 Section under the Lake Mälaren in Stockholm Ing. Jan Faltýnek, Ph.D., MBA, EUR ING, Subterra a.s.	31
Žabovřeská Tunnel – Final Evaluation Viewed by Contractor Ing. Dalibor Stromček, Ing. Andrej Korba, Subterra a.s.	43
Reconstruction of Four Railway Tunnels on the Line Brno-Maloměřice – Adamov Ing. Linda Černá Vydrová, Ph.D., Subterra a.s.	50
Determination of Warning Levels for Shotcrete Tunnel Lining in the First 28 Days by Calculation Ing. Jaromír Zlámal, POHL cz, a.s.	59
Picture Report from Groundbreaking Ceremony of Fámjin Tunnel on Faroe Islands	69
Picture Report from Current State of Construction of Pohúrka Tunnel on D3 Motorway	70
The World of Underground Constructions	77
News from Tunnelling Conferences	78
Current News from the Czech and Slovak Underground Constructions	80
From the History of Underground Constructions	85
Anniversaries	90
Last Farewell	90
CzTA Working Groups	92
Czech and Slovak Tunneling Association ITA-AITES Report	92
Bibliography	94

Ing. Michal Šerák – Inženýring dopravních staveb a.s.
doc. Ing. Richard Šňupárek, CSc. – Ústav geonik AV ČR, v.v.i.
Ing. Pavel Šourek – SATRA, spol. s r.o.
Ing. Václav Veselý – SG Geotechnika a.s.
Ing. Jaromír Zlámal – POHL cz, a.s.
CzTA ITA-AITES: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.

Zahraníční členové / International members

Prof. Georg Anagnostou – ETH Zürich, Switzerland
Dr. Nick Barton – NICK BARTON & ASSOCIATES, Norway
Prof. Adam Bezuijen – GHENT UNIVERSITY, Belgium
Prof. Tarcisio B. Celestino – UNIVERSITY OF SAO PAULO, Brazil
Dr. Vojtech Gall – GALL ZEIDLER CONSULTANTS, USA
Prof. 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. Walter Wittke – WBI GmbH, Germany

PUBLISHED FOR SERVICE USE

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

DISTRIBUTION

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

OFFICE

Koželužská 2450/4, 180 00 Praha 8 – Libeň, phone: +420 702 062 610
e-mail: pruskova@ita-aites.cz
web: http://www.ita-aites.cz
Editor-in-chief: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.
Technical editors: prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., doc. Dr. Ing. Jan Pruška,
Ing. Pavel Šourek, RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D.,
Ing. Miloslav Frankovský
Graphic designs: Ing. Jiří Šilar DTP, Dačického 1225/8, 140 00 Praha 4
Printed: SERIFA, s.r.o., Jionická 804/80, 158 00 Praha 5
Cover photo: View of the portal of tunnel No. 3 on the railway line Brno-Maloměřice – Adamov (source Subterra photo archive)

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

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

ČZTA:

Čestní členové:

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

Členské organizace:

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

AFRY CZ, s.r.o.
Magistrů 1275/13
140 00 Praha 4 – Michle

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

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
Tháškova 7
166 29 Praha 6

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

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

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

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.
Jirská 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

Master Builders Solutions CZ s.r.o.
K Májovu 1244
537 01 Chrudim

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

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

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

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

OHLA ŽS, a.s.
Tuřanka 1554/115b
627 00 Brno

POHL cz, a.s.
Na Pomezí 2483
252 63 Rostoky

PORR a.s.
Dubečská 3238/36
100 00 Praha 10 – Strašnice

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

Promat s.r.o.
Evropská 2758/11
160 00 Praha 6

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

ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR
Čerčanská 12
140 00 Praha 4

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

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
Dlážděná 1004/6
110 00 Praha 1 – Nové Město

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

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

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

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

UNIVERZITA PARDUBICE
Dopravní fakulta Jana Pernera
Studentská 95
532 10 Pardubice

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

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

VIS, a.s.
K Hájům 945/10
155 00 Praha 5

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

STA:

Čestní členovia:

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

Členské organizácie:

Alfa 04 a.s.
Jašíkova 6
821 07 Bratislava
Amberg Engineering Slovakia, s.r.o.
Somolického 819/1
811 06 Bratislava

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

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.
Ružinovská 42
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

CHS-GEO Servis, a.s.
Vysoká 19
811 06 Bratislava

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

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

Master Builders Solutions
Slovakia spol. s r.o.
Na stanicu 937/26b
010 09 Žilina

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

PŘÍRODOVEDECKÁ 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.
Krajná 29
821 04 Bratislava

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 Cintorínu 63
010 04 Žilina – Bánová

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

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

Ústav geotechniky SAV
Watsonova 45
043 53 Košice

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

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

Železnice SR
Klemensova 8
813 61 Bratislava

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

Vážení čtenáři,

toto číslo odborného časopisu Tunel vychází v době konání 15. ročníku mezinárodní konference Podzemní stavby Praha 2023 a je součástí konferenčních materiálů. Jedná se o největší tunelářskou konferenci v České republice, která navazuje na její předchozí ročníky, které byly pravidelně pořádány každé tři roky. Vzhledem k pandemii byl tento ročník konference posunut o jeden rok. S ohledem na zkušenosti z pandemie byla během přípravy zvažována hybridní forma konference, která se osvědčila při pořádání Tunelářských odpolední. Nakonec jsme se však rozhodli konferenci uspořádat bez možnosti online připojení posluchačů, protože osobní setkání účastníků je jedním z hlavních cílů. Obdobně jako v minulosti jsme se pokusili ten letošní ročník trochu oživit. Proto letos bude pořádán v neděli před konferencí doprovodný kurz, zaměřený na využití BIM pro podzemní stavby. Dále také proběhne panelová diskuse zaměřená na havárie tunelů. Na obou těchto akcích vystoupí renomovaní zahraniční řečníci. Podobné akce byly součástí konference v roce 2019 a měly velmi dobrou odezvu.

Rád bych touto cestou poděkoval všem, kteří svým dílem přispěli ke zdárné přípravě konference. Jedná se především o členy přípravného výboru a vědecké rady, kteří konferenci dlouhodobě připravovali. Velmi oceňujeme vstřícnost renomovaných vyzvaných řečníků, kteří svými přednáškami a příspěvky nepochybně zvyšují prestiž a atraktivitu konference. Děkujeme i všem ostatním autorům za příspěvky do sborníku konference, ústní prezentaci a postery. Je třeba zmínit partnery konference, jejichž finanční příspěvky se opět příznivě promítly do výše vložného a rozsahu nabízených služeb. Také je vhodné poděkovat všem vystavovatelům a podporujícím organizacím včetně Mezinárodní tunelářské asociace ITA-AITES, ISSMGE a ISRM. V neposlední řadě bych rád poděkoval všem organizacím, které podpořily účast svých zaměstnanců na konferenci. Obdobně, jako v minulosti, při organizaci konference asistuje agentura Guarant.

Toto číslo časopisu Tunel je věnováno dvěma platinovým partnerům konference PS 2023, společností Metrostav a Subterra. První tři články připravili autoři z firmy Metrostav. První článek je ohlednutím za historií použití tunelovacích štítů při ražbách metra v Praze, která se začala psát před 55 lety prvním štítem dodaným ze Sovětského svazu pro trasu C a v nejbližší době bude nejspíš pokračovat moderními zeminovými štíty na nové trase D. Druhý článek nás zavede na ražbu na Faerské ostrovy, kde Metrostav nyní razí svůj první tunel. Třetí článek je zaměřen na kratší hloubený tunel v Plzni, který bude sloužit pro křížení silnice a železnice. Obdobně jako Metrostav má i Subterra v tomto čísle tři články. První z nich popisuje silniční obchvat Stockholmu, na jehož ražbách se Subterra podílí. Další články nás zavedou do Brna a jeho okolí, kde společnost Subterra realizovala ražby tramvajového tunelu Žabovřeská a rekonstrukci čtyř železničních tunelů na trati Brno – Adamov. Poslední článek, na rozdíl od šesti článků z různých realizací, je zaměřen teoreticky na stanovení varovných stavů pomocí obecné polygonální metody.

Čtenářům časopisu přeji příjemné a poučné čtení. Všem účastníkům konference přeji, aby si konferenci náležitě užili, a to jak její odbornou stránku, tak i stránku společenskou, kterou jsme v době pandemie všichni postrádali.

Zdař Bůh!

*prof. Ing. MATOUŠ HILAR, M.Sc., Ph.D., CEng., MICE
předseda vědecké rady konference PS 2023
člen redakční rady časopisu Tunel*

Dear readers,

this issue of the professional journal Tunel is published at the time of the 15th international conference Underground Construction Prague 2023 and is part of the conference materials. It is the largest tunnel construction conference in the Czech Republic, following up to its previous years, which were held regularly every three years. Due to the pandemic, this conference session was postponed by one year. Taking into account the experience of the pandemic, a hybrid form of the conference was considered during the preparation, which proved to be successful when organising the Tunnel Afternoons. In the end, however, we decided to organise the conference without the possibility of joining the audience online, because the meeting of the participants in person is one of the main goals. As in the past, we again tried to revive this year's event a bit. Therefore, an accompanying course focused on the use of the BIM for underground construction will be organised this year on the Sunday before the conference. In addition, we will hold a panel discussion focused on tunnel accidents. Renowned foreign speakers will speak at both of these events. Similar events were part of the conference in 2019 and had a very good response.

I would like to take this opportunity to thank everyone who contributed to the successful preparation of the conference. These are mainly members of the preparatory committee and the scientific council, who had been preparing the conference for a long time. We greatly appreciate the help of the renowned invited speakers, whose lectures and contributions undoubtedly increase the prestige and attractiveness of the conference. We also thank all other authors for contributions to the conference proceedings, oral presentations and posters. It is necessary to mention the partners of the conference, whose financial contributions were again favourably reflected in the amount of enrolment fee and the range of services offered. It is also appropriate to thank all exhibitors and supporting organisations including the International Tunnelling Association ITA-AITES, ISSMGE and ISRM. Last but not least, I would like to thank all the organisations that supported the participation of their employees in the conference. Similarly, as in the past, the Guarant agency assists with the conference organisation.

This issue of Tunel journal is dedicated to the two platinum partners of the UC 2023 conference, Metrostav and Subterra. The first three papers were prepared by authors from the company of Metrostav. The first paper is looking back at the history of the use of tunnelling shields in the excavation of the metro tunnels in Prague, which began 55 years ago with the first shield delivered from the Soviet Union for Line C and will probably continue in the near future with modern Earth Pressure Balance shields on the new Line D. The second paper takes us to the tunnelling in the Faroe Islands, where Metrostav is now driving its first tunnel. The third paper is focused on a shorter cut-and-cover tunnel in Plzeň, which will be used for the intersection of a road and a railway track. Similar to Metrostav, Subterra also has three papers in this issue. The first of them describes the motorway bypass of Stockholm, in the tunnelling project in which Subterra participates. Further papers will take us to Brno and its surroundings, where the company of Subterra completed the excavation of the Žabovřeská tram tunnel and the reconstruction of four railway tunnels on the Brno – Adamov line. The last paper, in contrast to the six papers from different projects, is theoretically focused on the determination of the alert trigger levels using the general polygonal method.

I wish the readers of the journal a pleasant and informative reading. I wish all conference participants to enjoy the conference properly, both its professional side and the social side, which we all missed during the pandemic.

God speed you!

*Prof. Ing. MATOUŠ HILAR, M.Sc., Ph.D., CEng., MICE
Chairman of Scientific Council of UC 2023 conference
member of Editorial Board of Tunel journal*



VÁŽENÍ ČTENÁŘI ČASOPISU TUNEL,

číslo, které se vám dostává do rukou, je věnováno firmám Metrostav a.s. a Subterra a.s. a zároveň již 15. ročníku konference Podzemní stavby Praha. Konference, která si v průběhu času získala obrovské renomé nejen u české, ale i světové odborné veřejnosti a její konání je vždy svátkem pro odborníky z oboru podzemního stavitelství.

Je také okamžikem, který svým způsobem vybězí k ohlédnutí se a k bilancování čtyř let, která od minulé konference uplynula. Bylo to období, ve kterém si současný globalizovaný svět prošel do té doby nepoznanými výzvami. Ochromila jej virová pandemie, která spustila řetězec událostí vedoucí k omezení dodávek materiálů, výrobků, ale i pracovních sil. Globální ekonomické trhy přirozeně reagovaly růstem cenových hladin. V počátku minulého roku začala válka na Ukrajině a inflační spirála nabrala na ještě vyšších obrátkách. To, co jsme dříve považovali za samozřejmé, dlouhodobě neměnné a jisté, stává se nejistým, proměnlivým až pomíjivým. Jsou to kupříkladu zdroje surovin, energií a vody.

S nelehkou situací se pochopitelně musela vypořádat i společnost Metrostav a.s. a mě těší možnost konstatovat, že si díky svým zaměstnancům, schopným na okolní podmínky pružně reagovat, s touto situací poradila. Stavby v tuzemsku i v zahraničí byly realizovány ke spokojenosti investorů jen s minimálními omezeními. Z významných podzemních staveb jmenujme dokončení slovenských tunelů Žilina a Prešov, norských Slørdal, Mjønes a kabelovod v Bergenu, islandský tunel na Západních fjordech – Arnafjordur, Dyrafjordur, ražby metra ve Stockholmu a dokončení geologického průzkumu Metra D v Praze.

Společnost Metrostav a.s. prošla rovněž restrukturalizací s cílem přizpůsobit se novým trendům a současným požadavkům stavebního trhu. V rámci skupiny byly založeny kupříkladu nové dceřiné společnosti Metrostav Norge AS či Metrostav TBR a.s., které jsou zaměřeny výhradně na dopravní stavitelství a více regionálně, tak dokáží efektivně rozvíjet svou specializaci a budovat unikátní kapacity v daném oboru.

V závěru bych se rád ještě vrátil ke konferenci Podzemní stavby Praha 2023 s poděkováním, přivítáním a popřáním. Poděkovat se sluší členům přípravného výboru konference za jejich několikaleté úsilí a obětavost, s jakou k přípravám přistupují. Bez těchto lidí by nebylo možné takto významnou konferenci zorganizovat. Rád bych přivítal všechny účastníky, zvláště zahraniční. Všem bych pak rád popřál, ať se konference vydaří, poslouží k obohacení o nové teoretické poznatky, k rozšíření okruhu známých a přátel. A ať si všichni účastníci z Prahy odvezou jen pozitivní vzpomínky.

**DEAR READERS OF TUNEL JOURNAL,**

the issue you are receiving is dedicated to the companies of Metrostav a.s. and Subterra a.s. and, at the same time, to the 15th international conference Underground Construction Prague. The conference has gained a huge reputation over time not only among the Czech, but also the world's professional public. The conference days are always a holiday for experts in the field of underground construction.

They are also a moment that, in a way, encourages us to look back and take stock of the four years that have passed since the last conference. It was a period in which the current globalised world went through unprecedented challenges unknown until then. It was paralysed by a viral pandemic, which triggered a chain of events leading to a reduction in the supply of materials, products, and labour. Global economic markets naturally responded by increasing price levels. At the beginning of last year, the war in Ukraine started and the inflationary spiral gained even higher momentum. What we previously considered self-evident, long-term unchanging and certain, becomes uncertain, changeable and even ephemeral, for example, sources of raw materials, energy and water.

Of course, Metrostav a.s. also had to deal with a difficult situation, and I am pleased to say that thanks to its employees, who are able to react flexibly to the surrounding conditions, it coped with this situation. Construction projects domestic and abroad were carried out to the satisfaction of clients with only minimum restrictions. Important underground construction projects include the completion of the Žilina and Prešov tunnels in Slovakia, the Norwegian tunnels Slørdal, Mjønes and the cable duct in Bergen, the Icelandic tunnel in the Western Fjords – Arnafjordur, Dyrafjordur, the driving of subway tunnels in Stockholm and the completion of the geological survey for Metro D line in Prague.

The company Metrostav a.s. also underwent restructuring in order to adapt to new trends and current requirements of the construction market. For example, new subsidiaries Metrostav Norge AS or Metrostav TBR a.s. were founded within the group. They are focused exclusively on transport construction and more regionally, and are thus able to more effectively develop their specialisation and build unique capacities in the given field.

Finally, I would like to return to the Prague 2023 Underground Construction Conference with thanks, giving a welcome and best wishes. It is appropriate to thank the preparatory committee of the conference for several years of their effort and the dedication with which they have approached the preparations. Without these people, it would not be possible to organise such an important conference. I would like to greet all participants, especially foreign ones. I would like to wish everyone that the conference is a success and that it will serve to enrich us with new theoretical knowledge and to expand the circle of acquaintances and friends. Let all the participants bring home only positive memories from Prague.

ING. FILIP KŘEŠTÁN

*výrobně-technický ředitel
společnosti Metrostav a.s.*

*Chief Technical and Operating Officer
of Metrostav a.s.*

VÁŽENÍ ČTENÁŘI,

poetickými slovy jednoho z českých meziválečných básníků, Evropa v loňském roce „vystřízlivěla z krásného snu o kvetoucí zahradě“. My také. Po dvou covidových letech jsme spadli z bláta do louže plné vysoké inflace a drahých energií. Rozhořel se i válečný konflikt, který si do té chvíle sotva kdo dokázal představit. Doba levných peněz a nárokového blahobytu skončila, stejně jako snění o snadném a rychlém přechodu ke světu čistých energií. „Nesnesitelná lehkost bytí“ se stala minulostí, i když to mnozí zatím nechtějí plně pochopit.

Navzdory všem negativním událostem minulého roku prokázalo české stavebnictví svoji sílu, a i díky setrvačnosti typické pro stavební trh zaznamenalo mírný meziroční nárůst. Ani Subterra a její divize podzemního stavitelství si nevedly špatně. Byly dokončeny výstavby tunelu Milochovo na slovenské trati v úseku Púchov – Považská Teplá a tramvajového tunelu Žabovřeská v Brně, stejně jako rekonstrukce čtyř železničních tunelů na trati Brno-Maloměřice – Adamov. O posledních dvou stavbách se v tomto čísle dočtete blíže. Vedle již zmíněného Slovenska se divize v zahraničí uplatnila i v dalších zemích, a to v Německu a ve Švédsku. Práci ve Švédsku přibližuje článek o realizaci betonových konstrukcí v tunelech podcházejících jezero Mälaren na nově budované části dálničního obchvatu Stockholmu s označením FSE209. Na stejné stavbě byly prováděny i betonáže nájezdových ramp, které budou letos dokončeny. V Německu Subterra pracovala společně s naší sesterskou koncernovou společností BeMo Tunnelling na výstavbě tunelu Kramer, který bude součástí obchvatu města Garmish-Partenkirchen. Práce tam budou pokračovat i letos, na rozdíl od tunelu Spitzenberg na dálnici A 44, který byl loni dokončen. Přidáme-li k tomuto výčtu ještě Metro ID, úsek Pankrác – Olbrachtova, je naše bilance loňského roku v podzemním stavitelství velmi dobrá.

A jaké jsou vyhlídky? Věřme, že únorová kometa, kterou naposledy viděli neandrtálci před 50 tisíci lety, nebude pro rok 2023 špatným znamením, natož pak symbolem návratu do jejich časů.

I když do recese zřejmě upadne značná část světa, ekonomiky EU včetně té české nevyjímaje, většina odborníků předpokládá, že recese u nás bude mělká a nebude dlouhá. Stejně jako covidová pandemie se některých profesí dotkne více, jiných méně a nejinak tomu pravděpodobně bude i u jednotlivých stavebních oborů. Zatímco v pozemním stavitelství lze očekávat poměrně citelné ochlazení, v inženýrském stavitelství jsou vyhlídky lepší, a to jak díky větší setrvačnosti projektů, tak i díky historicky nejvyššímu rozpočtu SFDI a perspektivě jeho navyšování i v dalších letech. Snad se vláda bude držet schválených strategií a ke snížení investic nepřistoupí. Důležitost roku 2023 pro náš obor je v tom, zda se tato očekávání naplní. Nepochybně hned na jeho začátku skeptici a škarohlídů, na konci tunelu se světlo objeví vždycky.

**DEAR READERS,**

in the poetic words of one of the Czech interwar poets, last year Europe „came to its senses from a beautiful dream of a blooming garden“. So did we. After two years of covid, we have jumped out from the frying pan into the fire that radiates high inflation and expensive energy. A military conflict broke out, which hardly anyone could have imagined until that moment. The era of cheap money and entitlement to well-being is over, as well as the dream of an easy and quick transition to a world of clean energy. The „unbearable lightness of being“, which is the title of a Czech popular novel, has become a thing of the past, although many do not want to understand it fully yet.

Despite all the negative events of the past year, the Czech construction industry proved its strength and, thanks to the inertia typical for the construction market, recorded a slight year-on-year growth. Subterra and its underground construction division performed quite well too.

The construction of the Milochovo tunnel on the Slovak rail line in the Púchov – Považská Teplá section and the Žabovřeská tram tunnel in Brno were completed, as well as the reconstruction of four railway tunnels on the Brno-Maloměřice – Adamov line. You can read more about the last two projects in this issue. Apart from the above-mentioned Slovakia, the division also performed well in other countries, namely in Germany and Sweden. The work in Sweden is presented in detail by the article on concrete structures in the tunnels passing underneath Lake Mälaren on the newly built section of the Stockholm motorway bypass with the designation FSE209. On the same project, concreting of the access ramps has also been carried out. The work will be completed this year. In Germany, Subterra worked together with our sister company BeMo Tunnelling on the construction of the Kramer tunnel, which will be part of the Garmish-Partenkirchen bypass. Work there will continue this year, while the Spitzenberg tunnel on the A 44 motorway was completed last year. If we add Metro ID line section Pankrác – Olbrachtova to this list, the overall result of underground construction works carried out by our company last year is quite impressive.

And what are the prospects? Let us believe that the February comet, which was last seen by Neanderthals 50 thousand years ago, will not be a bad sign for the year 2023, let alone a symbol of our returning to their times.

Even if a significant part of the world, including the EU and Czech economy, will probably fall into recession, most experts assume that the recession will be shallow and of short duration in our country. Just like the covid pandemic, some professions will be affected more, others less, and the same will probably apply to individual construction branches. While a relatively noticeable cooling can be expected in the field of surface construction, the prospects are better in civil engineering, both thanks to the greater inertia of projects and thanks to the historically highest SFDI (State Fund for Transport Infrastructure) budget and the intention to increase it in the years to come. Hopefully the government will adhere to the approved strategies and will not reduce investments. The importance of the year 2023 lies in the fulfilment of these expectations. Let us not fall into pessimism and scepticism right at its beginning, there is always light at the end of the tunnel.

ONDŘEJ FUCHS

*předseda představenstva a generální ředitel
Subterra a.s.*

*Chairman of the Board and Chief Executive Officer
of Subterra a.s.*

ŠTÍTY NA RAŽBÁCH PRAŽSKÉHO METRA SHIELDS USED FOR DRIVING PRAGUE METRO TUNNELS

PETR HYBSKÝ

ABSTRAKT

V letošním roce uplyne pětapadesát let od prvního nasazení tunelovacího štítu na ražbách pražského metra, a je tudíž nabíledni ohlédnout se zpět a připomenout si štítové mechanismy, které se větší či menší měrou podílely na výstavbě traťových tunelů podzemních linek hlavního města České republiky. Každá z popsaných technologií vnesla do tras metra trvalý otisk odrážející tehdejší stav technologického poznání, společenské situace i politické orientace země. Závěr článku propojí vzpomínanou minulost s aktuální současností, neboť i na chystaném úseku metra trasy D je počítáno s nasazením metody mechanizovaného tunelování.

ABSTRACT

This year, fifty-five years will pass since a tunnelling shield was first used for driving the Prague metro tunnels, and it is therefore time to look back and remember the shield mechanisms that, to a greater or lesser extent, participated in the construction of the running tunnels of the underground lines of the capital of the Czech Republic. Each of the described technologies left a lasting mark on the metro routes, reflecting the current state of technological knowledge, the social situation and the political orientation of the country. The conclusion of the paper links the remembered past to the current present, since the planned section of the metro line D is also expected to use the mechanised tunneling method.



Obr. 1 Pražská podzemní dráha, stanice Vyšehrad
Fig. 1 Prague underground, Vyšehrad station

1. ÚVOD

„Praha bude mít metro,“ zvěstoval dne 10. srpna 1967 oblíbený večerník československé metropole a ústy kamelotů bylo dále v ulicích hlášáno zásadní rozhodnutí, které nejenže uzavřelo mnohaleté diskuze o způsobu řešení podzemní hromadné dopravy v Praze (obr. 1), ale zároveň na dalších několik desetiletí ovlivnilo obor zdejšího podzemního stavitelství, které se tehdy nacházelo v určitém mezidobí – stagnaci. Fakticky totiž skončilo dlouho trvající období klasických tunelářských metod, od ražby posledního tunelu již uplynula delší doba. Zkušenosti tunelářů odešli na odpočinek a mladí neměli kde sbírat zkušenosti.

Bylo nasnadě, že pro ražbu tunelů pražského metra bude potřeba nasadit nové, v prostředí místního podzemního stavitelství dosud

1. INTRODUCTION

“Prague will have a subway,” announced the popular evening newspaper of the Czechoslovak metropolis on August 10, 1967, and through the mouths of camelots, a fundamental decision was further announced in the streets, which not only terminated many years of discussions about how to solve underground mass transport in Prague (Fig. 1), but at the same time affected for the next several decades the field of local underground construction, which at that time was in a certain interim period of stagnation. In fact, the long-lasting period of classical tunneling methods had ended; a long time had already passed since the excavation of the last tunnel. Experienced tunnelers went to rest and young ones had nowhere to gather experience.

It was obvious that for the excavation of the Prague metro tunnels it would be necessary to apply new methods, previously unknown in the local underground construction environment. These were adopted from the Soviet Union in compliance with the political orientation of the country at the time. For tunnels excavated in rock and rock types with longer-term excavation stability, the ring method was chosen, and for excavating in the environment of soils, semi-rock and sections with low overburden, where it was necessary to reduce surface settlement as much as possible, the non-mechanised shielding method was chosen.

2. NON-MECHANISED SHIELD COMPLEX KM34

The first shield complex for the Prague metro with the designation KM34 was purchased in 1968. Its assembly also began



Obr. 2 Štítová část nemechanizovaného komplexu KM34 (1978)
Fig. 2 Shield part of the non-mechanised complex KM34 (1978)

nepoznané metody. Ty byly ve shodě s tehdejší politickou orientací země převzaty ze Sovětského svazu. Pro tunely ražené ve skalních horninách a v horninách s dlouhodobější stabilitou výrubu byla zvolena prstencová metoda a pro ražbu v prostředí zemin, polskalních hornin a úseků s nízkým nadložím, kde bylo třeba v co největší míře redukovat sedání povrchu, byla vybrána metoda nemechanizovaného štítování.

2. NEMECHANIZOVANÝ ŠTÍTOVÝ KOMPLEX KM34

První štítový komplex pro pražské metro s označením KM34 byl zakoupen v roce 1968, kdy rovněž započala i jeho montáž ve stavební komoře poblíž Štětkovy ulice. Komplex byl sestaven na počátku roku 1969, kdy započala ražba 454 m dlouhého tunelu trasy C ke stanici Pražského povstání. Úvodní zaškolení posádek probíhalo ve spolupráci se sovětskými pracovníky.



Obr. 5 Prorážka pod kostelem sv. Pankráce
Fig. 5 Breakthrough under St. Pankrac church



Obr. 3 Pracovníci na čelbě nemechanizovaného štítu
Fig. 3 Workers at excavation face of the non-mechanised shield



Obr. 4 Montáž tunelového ostění erektorem v nemechanizovaném štítu
Fig. 4 Assembly of tunnel lining by an erector in the non-mechanised shield

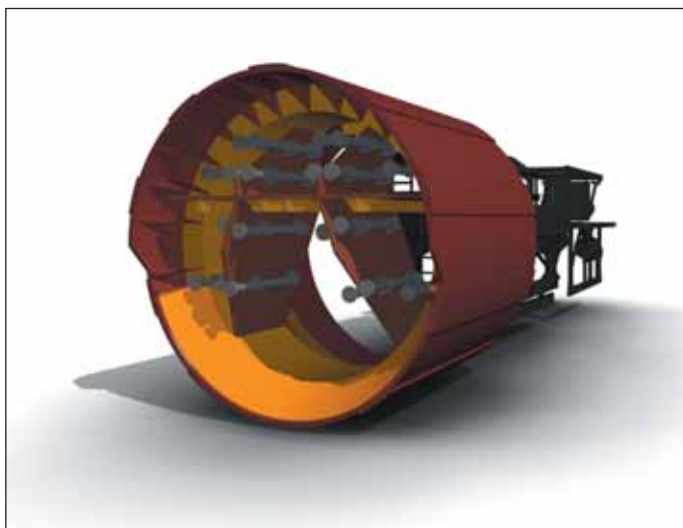
in a construction chamber near Štětková Street. The complex was assembled at the beginning of 1969, when the excavation of the 454m long tunnel of Line C in the direction of the Pražského Povstání station began.

The KM34 complex (Fig. 2), which according to eyewitnesses conceptually corresponded to the technologies of 1910, was composed of three basic parts. The front part was made up of a non-mechanised ŠČN-1S shield, behind it was attached a TU 3 Gp tunnel lining erector and a TN 16 Gp grouting gantry. The method of tunnel construction using the KM34 complex was labeled as “shielding, cyclic-flow” in contemporary literature. The workers used hand-held tools and pneumatic hammers to break the rock on the face. The stability of incoherent ground was ensured by hydraulic sheeting cylinders using timber sheeting elements (Fig. 3). The broken rock was loaded in the lower part of the shield with a front-end wheel loader onto cars running on a rail track with a gauge of 600mm. After completing the excavation progress to the distance of one or two excavation rounds and moving the shield forward, the tunnel lining rings were assembled using the TU 3 Gp erector (Fig. 4). Its fixation into the rock environment was subsequently ensured by back grouting. Grout was pumped behind the lining by a device located on the TN 16 Gp platform. The ring lining was circular, with an outer diameter of 5.5m and an inner diameter of 5.1m. The segments on the first mined tunnels of the Prague metro were made of cast iron.

Komplex KM34 (obr. 2), který ústy pamětníků koncepčně odpovídal technologiím roku 1910, byl složen ze tří základních částí. Přední část tvořil nemechanizovaný štít ŠČN-1S, v závěsu za ním byl připojen ukladač tunelového ostění (erektor) TU 3 Gp a injektážní plošina TN 16 Gp. Metoda výstavby tunelu komplexem KM34 byla v dobové literatuře označena jako „štítová, cyklicko-proudová“. Rozpojování horniny na čelbě prováděli dělníci havířskými ručními nástroji a pneumatickými klady. Stabilita nesoudržných hornin byla zajišťována pažicemi hydraulickými válci za použití dřevěných pažicích prvků (obr. 3). Rozpojená hornina se ve spodní části štítu nakládala čelním kolovým nakladačem do vozů kolejové drážky rozchodu 600 mm. Po vyražení záběru na délku jednoho nebo dvou postupů a dopředném posunu štítu byly pomocí ukladače TU 3 Gp montovány prstence tunelového ostění (obr. 4). Jeho fixaci do horninového prostředí následně zajišťovala výplňová injektáž, která se za ostění čerpala ze zařízení umístěného na plošině TN 16 Gp. Prstencové ostění bylo kruhové, vnějšího průměru 5,5 m a vnitřního 5,1 m. Segmenty na prvních ražených tunelech pražského metra byly litinové.

Tab. 1 Základní technické parametry nemechanizovaného komplexu KM34

KM34 – základní technické parametry	
Hmotnost	145 t
Délka	21 m
Průměr výrubu	5,5 m
Celková přitlačná síla	1 862 t
Pažicí hydroválce	20 ks
Posun ukladače	kráčivý, hydromechanický s maximálním krokem 1,47 m



3D grafika stroje KM34 (viz tab. 1)

3D graphics of KM34 machine (See Table 1)

Průměrný měsíční postup na ražbách prvního tunelu činil 54,5 m. Po dokončení tunelu byl štít přestěhován zpět do stavební komory, ze které byla ražena druhá tunelová trouba. Přesun štítu byl uvažován ještě před prorážkou, kdy v úvalu přicházela úplná nebo částečná demontáž a nová montáž. Technici firmy Metrostav však přišli s řešením přesunu štítu bez demontáže. Ojedinelé řešení, které ve výsledku přineslo výrazné časové a finanční úspory, připravovali do nejmenších detailů a kupříkladu Ing. Ermín Stehlík si tehdy zhotovil papírový model ve zmenšeném měřítku a doma si na něm zkoušel různé scénáře přesunu. Na druhém tunelu bylo dosaženo průměrně-

Table 1 Basic technical parameters of the non-mechanised KM34 complex

KM34 – Basic technical parameters	
Weight	145t
Length	21m
Excavated diameter	5,5m
Total thrust	1 862t
Bracing hydraulic cylinders	20 pcs
Erector shifting	walking, hydromechanical with maximum steps of 1.47m

The average monthly excavation advance rate of the first tunnel was 54.5m. After the completion of the tunnel, the shield was moved back to the construction chamber, from which the second tunnel tube was driven. Moving the shield was considered even before the breakthrough, when complete or partial disassembly and reassembly were considered. Metrostav technicians, however, came up with a solution to move the shield without disassembly. The unique solution, which resulted in significant time and financial savings, was prepared down to the smallest detail and, for example, Ing. At that time, Ing. Ermín Stehlík made a paper model on a reduced scale and tried different transport scenarios on it at home. On the second tunnel, an average monthly advance of 67.6m was achieved. The breakthroughs of both tunnels took place in close proximity to a Gothic monument – the St. St. Pankrac church (Fig. 5), which was not significantly affected by the excavation.

Another part of the first stage of Line C, which was driven by a non-mechanised shield, was the interstation section Pankrác (then Mládežnická) – Budějovická, where the shield was moved again without dismantling. Here, the miners faced the demanding technical task of driving the tunnel just 120cm below the foundations of a five-story building in Pacovská street. To reduce subsidence, the heading was braed with wooden lagging, and the workers thus tried the procedures already applied by the famous Marc Isambard Brunel in London when driving the tunnel under the Thames. The building being passed under was continuously monitored for seven days by a device that was developed specifically for the Prague metro. The subsidence averaged 7mm in total, and apart from hairline cracks on the basement walls, there were no other signs of failure. The shield successfully arrived at the Budějovická station and once again it was possible to shift the maximum values of the monthly advance rates to 79m (on the right-hand tunnel), or 80m (on the left-hand tunnel).

For the construction of both running tunnels between the Hlavní nádraží and Florenc (then Sokolovská) stations, a second tunnelling sheet was purchased in the USSR. The right-hand tunnel to the Hlavní nádraží station was driven on a down gradient through made-ground and gravel sands of the Maniny terrace with significant inflows of groundwater, the level of which, when not reduced, extended 3.5 to 4m into the tunnel cross-section. In order to lower the water table, 42 wells were excavated in the railway yard of the Masaryk station, which continuously pumped the groundwater and lowered its table by 2m. Despite this measure, the inflow rate at the tunnel face was 7 to 9 litres per second. During the construction of this section, for the first time, the shield was not moved for the excavation of the adjacent tunnel tube, but was rotated in the roofed chamber of the Florenc station.

The era of non-mechanised shields continued from the first stage of Line C to the second one, then to Lines A and B. It lasted until the early nineties of the twentieth century (graph 1). During that time, over 18km of running tunnels were driven with non-mechanised

ho měsíčního postupu 67,6 m. Prorážky obou tunelů proběhly v těsném sousedství gotické památky – kostela sv. Pankráce (obr. 5), která ražbou nebyla výrazně ovlivněna.

Další částí první etapy trasy C, která byla ražena nemechanizovaným štítem, byl mezistaniční úsek Pankrác (tehdy Mládežnická) – Budějovická, kam byl štít přesunut opět bez demontáže. Raziče zde čekal náročný technický úkol podejít pouhých 120 cm pod základy pětipodlažní budovy v Pacovské ulici. Pro redukci poklesů byla čelba pažena dřevěnými pažinami a pracovníci si tak vyzkoušeli postupy, které aplikoval již slavný Marc Isambard Brunel v Londýně při ražbě tunelu pod Temží. Podcházený dům byl nepřetržitě monitorován po dobu sedmi dní přístrojem, který byl vyvinut speciálně pro pražské metro. Poklesy činily v celku průměrně 7 mm a kromě vlasových trhlinek na suterénních zdech se neprojevily žádné jiné znaky porušení. Štít úspěšně dorazil do stanice Budějovická a opětovně se podařilo posunout maximální hodnoty měsíčních postupů na 79 m (na pravém tunelu), resp. 80 m (na tunelu levém).

Pro výstavbu obou traťových tunelů mezi stanicemi Hlavní nádraží a Florenc (tehdy Sokolovská) byl v SSSR zakoupen druhý razičí štít. Pravý tunel do stanice Hlavní nádraží byl ražen úpadně v navážkách a ve štěrkopiscích maninské terasy se značnými přítoky podzemní vody, jejíž hladina za nesníženého stavu zasahovala 3,5 až 4 m do průřezu tunelu. Aby se hladina podzemní vody snížila, bylo v kolejisti Masarykova nádraží vyhloubeno 42 studní, které nepřetržitě podzemní vodu čerpaly a snižovaly její hladinu o 2 m. Přes toto opatření činil přítok na čelbě tunelu 7 až 9 litrů za vteřinu. Při výstavbě tohoto úseku poprvé nebylo užito přesunu štítu pro ražbu sousední tunelové trouby, ale bylo provedeno otočení štítu v zastropené komoře stanice Florenc.

Éra nemechanizovaných štítů pokračovala z první etapy trasy C na druhou etapu, posléze na trasu A i B. Trvala až do raných devadesátých let dvacátého století (graf 1). Za tu dobu bylo nemechanizovanými štíty vyraženo přes 18 km traťových tunelů a jejich působení bylo opravdu pestré. Připomeňme následující aspekty:

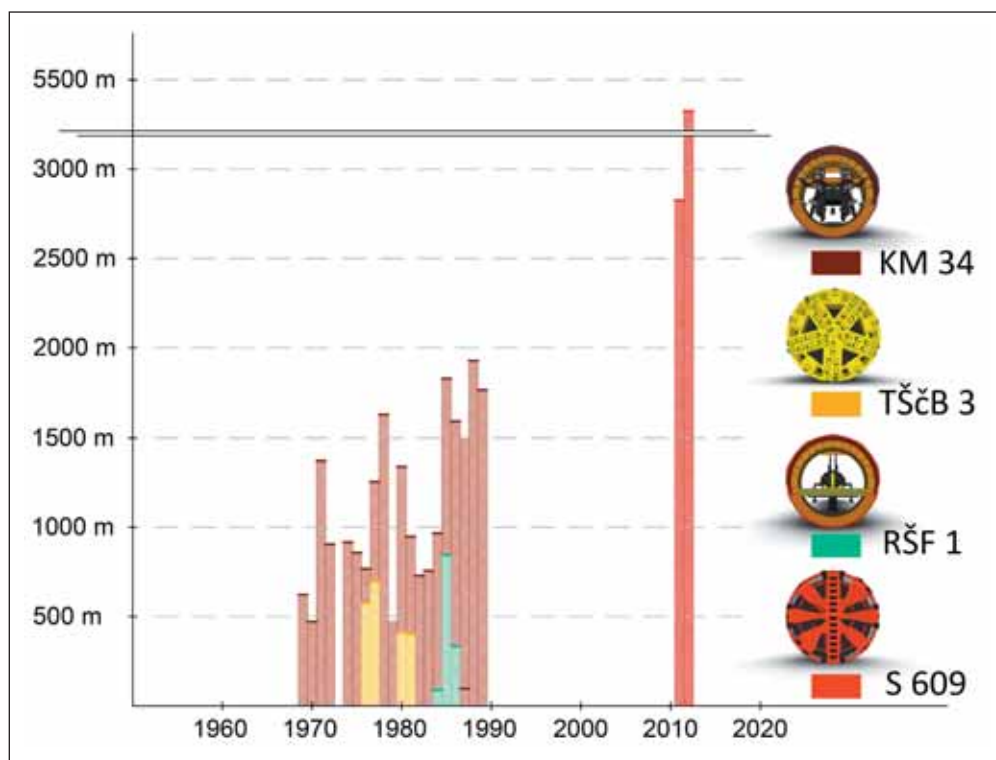
- montáže a demontáže štítů byly prováděny jak v hloubených jámách, tak v ražených montážních komorách v podzemí;
- pro stěhování štítů k ražbám následných úseků byl úspěšně aplikován postup stěhování štítu bez jeho demontáže, v některých částech byla provedena obrátka ve tvaru písmene U (tzv. U-turn); autentické záběry jednoho z přesunů bez rozebrání štítu byly použity ve filmu „Lidé z metra“;
- podařilo se těsně (s distancí jen několika desítek decimetrů) podejít nejrůznější objekty – obytné domy, průmyslové objekty, dálnici D1 bez vyloučení provozu;
- při ražbách v ulici Sinkulova byl během výstavby dočasně vystěhován podcházený obytný dům a provozovna;
- štíty byly používány nejen v zeminách, své uplatnění našly i v pevných skalních horninách za současného používání trhacích

shields, and their work was truly diverse. Let us recall the following aspects:

- assembly and disassembly of the shield were carried out both in dug pits and in assembly chambers excavated underground;
- for moving the shields to excavate the subsequent sections, the procedure of moving them without dismantling was successfully applied, in some parts a turn in the shape of the letter U (so-called U-turn) was carried out; authentic film footage of one of the moves without disassembling the shield was used in the film "Lidé z metra";
- various objects were successfully passed under at a distance of only a few tens of decimetres – residential buildings, industrial buildings, the D1 highway without blocking traffic);
- during the excavations in Sinkulova Street, a residential building and a workshop building were temporarily emptied during construction;
- shields were used not only in soil, they also found their application in solid rock during the simultaneous use of blasting, which, according to contemporary evaluations, did not cause significant damage to the structure of the shield;
- different types of lining were used to support the tunnel excavation – initially cast iron ring lining used due to the low overburden, high density development on the surface and small directional radii during shielding; in later years, there was a significant shift to reinforced concrete segments, initially imported from Hungary, later produced in Prefa Lužec;
- the highest monthly performance in driving tunnels with non-mechanised shields was achieved in 1989, 117m in August and even 142m in November.

3. TŠČB-3 MECHANISED SHIELD

An important and still unique technology was applied (not only) during the passage under the Vltva river bed on the first section of line A. It involved the construction of tunnels with a compressed concrete lining – also referred to as a final compressed concrete



Graf č. 1 Přehled výkonů ražeb štíty v jednotlivých rocích

Graph No. 1 Overview of performance of shields driving tunnels in individual years

prací, ty podle dobového vyhodnocení nezpůsobovaly výraznější škody na konstrukci štítu;

- pro vyztužení tunelů byly používány různé druhy ostění – zprvu litinové prstencové ostění zabudovávané z důvodu nízkého nadoží, husté zástavby na povrchu a malých směrových poloměrů při štítování; v pozdějších letech se výrazněji přecházelo na dílce železobetonové, zpočátku dovážené z Maďarska, později vyráběné v Prefě Lužec;
- nejvyšších měsíčních výkonů při ražbách nemechanizovanými štíty bylo dosaženo v roce 1989, v srpnu 117 m a v listopadu dokonce 142 m.

3. MECHANIZOVANÝ ŠTÍT TŠČB-3

Významná a dodnes unikátní technologie byla uplatněna (nejen) při podchodu koryta řeky Vltavy na prvním úseku trasy A. Jednalo se o stavbu tunelů s lisovaným ostěním – též označovaným jako definitivní ostění z presbetonu. Československo se podle dostupných informací tehdy stalo druhou zemí na světě, kde byla tato technologie při ražbách metra užitá.

Princip lisovaného betonu pro ostění tunelů byl patentován již počátkem 20. století hned v několika zemích – Německu (1910), Francii (1911) či Rusku (1912). Jedním z prvních tunelů postavených tímto způsobem byl ražený kolektorový tunel pod řekou Oise ve Francii o průměru 2,63 m s tloušťkou ostění 23 cm. Betonová směs se za bednění ukládala ručně.

Německá firma Halinger postavila tímto způsobem na začátku 20. století několik tunelů malých rozměrů. Pro větší dopravní tunely se však metoda nerozšířila, neboť nebylo v tehdejších technických možnostech ji mechanizovat. To se podařilo až ve druhé polovině šedesátých let v zemích Sovětského svazu díky zařízení s přestavným bedněním. V letech 1972–1973 bylo tunelovacím strojem konstruovaným analogicky podle schématu TŠČB-3 proraženo 825 m hydrotechnického tunelu stavby Velkého stavropolského kanálu.

V září roku 1973 se uskutečnila montáž prototypu razicího komplexu TŠČB-3 na odváděcím tunelu algetské nádrže v Gruzii. Pro získání zkušeností se montáži zúčastnila skupina pracovníků Metrostavu, neboť dva identické stroje byly zakoupeny pro pražské metro, kam byly o rok později dodány.

Velkou technickou výzvou představovala samotná montáž obou komplexů, neboť ty dorazily v podobě neoznačených dílů doplněných velmi skromnou dokumentací. Zaskvěl se tehdy Ing. Hřebíček, který se velmi zasloužil o to, že se štíty podařilo dát dohromady. Kompletace probíhala v montážní komoře poblíž Mánesova mostu, odkud oba stroje razily směrem ke stanici Staroměstská.

lining. According to available information, Czechoslovakia then became the second country in the world where this technology was used in the excavation of subway.

The principle of compressed concrete for tunnel linings was already patented at the beginning of the 20th century in several countries – Germany (1910), France (1911) and Russia (1912). One of the first tunnels built in this way was the 2.63m diameter tunnel under the Oise river in France, with 23cm-thick lining. The concrete mixture was placed behind the formwork manually.

The German company Halinger built several small tunnels in this way at the beginning of the 20th century. However, the method did not spread for larger transport tunnels, as it was not possible to mechanise it at the time. This was only achieved in the second half of the 1960s in the countries of the Soviet Union thanks to equipment with adjustable formwork. In the years 1972–1973, 825m of the hydrotechnical tunnel of the Great Stavropol canal was carried out with a tunneling machine constructed analogously according to the TŠČB-3 scheme.

In September 1973, a prototype of the tunnelling complex TŠČB-3 was assembled on the discharge tunnel of the Alget reservoir in Georgia. To gain experience, a group of Metrostav workers participated in the installation, as two identical machines were purchased for the Prague metro, where they were delivered a year later.

The actual assembly of both complexes represented a major technical challenge, as they were supplied in the form of unmarked parts accompanied by very modest documents. At that time, Ing. Hřebíček distinguished himself by bringing the shields together. Completion took place in the assembly chamber near the Mánes bridge, from where both machines drove the tunnels in the direction of the Staroměstská station.

Much attention was paid to the first passage under the Vltava river. Geological survey revealed six fault zones. These were treated by grouting before the excavation by the mechanised shields. Two grouting methods were applied – from a ship by fans of grouting boreholes and from geological tunnels built in advance in the profile of the right-hand tunnel. They were grouted chemically with urea-formaldehyde resin hardened with phosphoric acid (which creates an artificial resin – aminoplast).

The TŠČB-3 mechanised shield (as the terminology of the time referred to it) already had the features of contemporary tunneling machines (Fig. 6). The cutting head fitted with disc cutters (Fig. 7) disintegrated the rock on the face. The rock was then loaded by scoping buckets onto a belt conveyor, which carried it to the loading point at the end of the mechanism. Behind the shield there were two rings – a gripper ring (anchoring the machine) and a pressing ring



Obr. 6 Strojník na mechanizovaném štítu TŠČB-3
Fig. 6 Machine operator of mechanised shield TŠČB-3



Obr. 7 Řezná hlava mechanizovaného štítu TŠČB-3
Fig. 7 Cutting head of the mechanised shield TŠČB-3

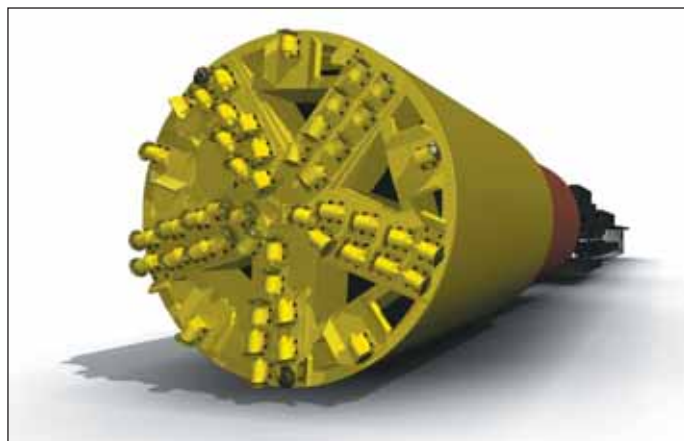
Prvnímu podchodu Vltavy byla věnována velká pozornost. Geologickým průzkumem bylo zjištěno šest poruchových zón. Tyto byly před ražbami mechanizovaných štítů injektovány, a to dvojnásobným způsobem – z lodí vějířů injekčních vrtů a z v předstihu vybudované geologické „průzkumné“ stoly umístěné v profilu pravého tunelu. Injektovány byly chemicky močovinoformaldehydovou pryskyřicí vytvrzovanou kyselinou fosforečnou (čímž vzniká umělá pryskyřice – aminoplast).

Mechanizovaný štít (jak jej označovala dobová terminologie) TŠČB-3 měl již znaky současných tunelovacích strojů (obr. 6). Řezná hlava (obr. 7) osazená valivými dláty rozpojovala horninu na čelbě. Hornina byla dále naběracími lopatami zaváděna na pásový dopravník, který ji vynášel na nakládací místo na konci mechanismu. Za štítem byly dva prstence – rozpěrný (rozepření stroje) a lisovací (pro lisování betonu). Za oběma prstenci se nacházela bednicí sekce pro lisovaný beton (obr. 8). Každým cyklem vznikala prstenec ostění z lisovaného monolitického betonu o tloušťce 300 mm, délce 600 mm, vnitřním průměru 5100 mm a vnějším průměru 5700 mm. Stroj měl dále závěs (tehdy nazývaný záštitový komplex) s technologiemi. Osádka stroje čítala 12 pracovníků s tím, že složení pracovní čety bylo následující:

- 1 strojník štítu;
- 1 strojník záštitového komplexu;
- 1 strojník na přestavbě bednicích sekcí;
- 5 razičů pro výrobu lisovaného betonu a pro naložení a odvoz rubaniny;
- 1 provozní elektrikář systému pohonů a synchronizace;
- 1 provozní elektrikář pro silnoproudé rozvody;
- 1 provozní údržbář – hydraulik;
- 1 provozní údržbář – strojař.

Tab. 2 Základní technické parametry mechanizovaného komplexu TŠČB-3

TŠČB-3 – základní technické parametry	
Hmotnost	640 t
Délka	76,8 m
Průměr výrubu	5,7–5,8 m
Počet bednicích sekcí	10 × 0,6 m
Počet řezných disků	50 + 5 kopírovacích (obvodové)
Nominální kroutící moment	3 089 kNm
Otáčky řezné hlavy	0,5–3 ot/min
Přítlak řezné hlavy	600 t
Max. tlak při lisování betonu	147,1 N



3D grafika stroje TŠČB-3 (viz tab. 2)

3D graphics of TŠČB-3 machine (See Table 2)

(for compressing concrete). Behind both rings there was a formwork section for compressed concrete (Fig. 8). Each cycle created a ring of monolithic compressed concrete lining with a thickness of 300mm, a length of 600mm, an inner diameter of 5100mm and an outer diameter of 5700mm. In addition, the machine had a back-up (then called a back-up complex) with technologies. The machine crew consisted of 12 workers, with the composition of the gang as follows:

- 1 shield operator;
- 1 back-up complex operator;
- 1 operator for rebuilding of formwork sections;
- 5 miners for production of compressed concrete and for the loading and removal of muck;
- 1 operational electrician of the drives and synchronisation system;
- 1 operational electrician for heavy-current distributions;
- 1 operational maintenance worker – hydraulics;
- 1 operational maintenance worker – machine attendant.

Table 2 Basic technical parameters of the mechanised complex TŠČB-3

TŠČB-3 – basic technical parameters	
Weight	640t
Length	76.8m
Excavated diameter	5.7–5.8m
Number of formwork sections	10 × 0.6m
Number of disc cutters	50 + 5 copying (circumferential)
Nominal torque	3089kNm
Cutter head rotation speed	0.5–3 rev/min
Cutter head thrust	600t
Max. pressure at compressing concrete	147.1N

The first shield that passed under the bottom of the Vltava broke through to Staroměstská station. It was pulled through it and continued to the Můstek station, where it was dismantled. The second machine on the left-hand tunnel tube was supposed to proceed according to the same scenario, but due to time reasons, with regard to the construction preparedness of the running tunnels for the laying of trackwork, it was already dismantled at the Staroměstská station. During the first deployment of mechanised shields, the interested builders gradually introduced new procedures, work organisation or structural changes of the shield complexes themselves. Thus, regular repair shifts were introduced for the repair and maintenance of shields. They fell on Saturdays. For the concrete, which was initially lowered into the underground through a shaft in carts, boreholes were gradually carried out on the route of the tunnel behind the shield. To ensure the quality of the concrete, dosed individual components were brought from the batching plant, and water was added only on the construction site just before the mixture was lowered underground. Peripheral discs were put out of operation on the cutting head, as their operation was not necessary even in the smallest directional arcs with values of 350–400m.

All the experience and modifications of the shield were used during the second re-deployment of the complex, namely on the left-hand tunnel of the IB route in the section between the Můstek – Florenc stations, with pushing it through the Náměstí Republiky station. That was 1980. Particular attention was paid to continuous operation, precise daily maintenance and planned preventative repairs in order to avoid unplanned downtime. The miners managed to achieve the highest monthly advance of 90.5m in the section. Perhaps as if it wanted to live up to the slogan that it should end

První štít, který podešel dno Vltavy, se prorazil do stanice Staroměstská. Tou byl protažen arazil dále ke stanici Můstek, kde byl demontován. Druhý stroj na levé tunelové troubě měl postupovat podle stejného scénáře, ale z časových důvodů s ohledem na stavební připravenost traťových tunelů pro pokládku kolejových svršků byl demontován již ve stanici Staroměstská. Během prvního nasazení mechanizovaných štítů zainteresovaní stavitelé postupně přinášeli nové postupy, organizaci práce či konstrukční změny samotných štítových komplexů. Byly tak zavedeny pravidelné opravárenské směny na opravy a údržby štítů, jež připadaly na sobotu. Pro beton, který byl zprvu spouštěn do podzemí šachtou ve vozících, byly postupně prováděny vrty na trase tunelu za štítem. Pro zajištění kvality betonu byly z betonárky přiváženy nadávkované jednotlivé složky, voda se doplňovala až na stavbě těsně před spouštěním směsi do podzemí. Na řezné hlavě byly vyraženy obvodové disky, neboť jejich činnost nebyla nutná ani v nejmenších směrových obloucích o hodnotách 350–400 m.

Veškeré zkušenosti a úpravy štítu byly využity při druhém, opětovném nasazení komplexu, a to na levém tunelu trasy IB v úseku mezi stanicemi Můstek – Florenc, s průtahem přes stanici Náměstí Republiky. To se psal rok 1980. Dbalo se zejména na nepřetržitý provoz, precizní denní údržbu a plánované preventivní opravy proto, aby nedocházelo k neplánovaným prostojům. Na úseku se podařilo dosáhnout nejvyššího měsíčního postupu o hodnotě 90,5 m.

Snad jako by se chtělo dostat heslu, že končit se má v nejlepším, byla i tato ražba pověstnou labutí písní mechanizovaných štítů TŠČB-3 na pražském metru. Tunely z lisovaného betonu jsou dodnes v provozu v rámci tras A a B; a vizuálně prokazují uspokojivou kvalitu bez výrazných trhlin, průsaků či jiných defektů v konstrukci ostění, které z podstaty provádění není žádným způsobem vyztuženo ani izolováno proti průsakům podzemní vody.

4. RAZICÍ ŠTÍT S FRÉZOU RŠF-1

Vynalézavost je vlastnost Čechům vlastní, což v podobě nejrůznějších technických zařízení prokázali nesčetněkrát. Není proto překvapením, že již od prvních ražeb nemechanizovanými štíty, které byly pro zúčastněný dělnický personál opravdovou dřinou, se inženýři zabývali myšlenkami, jak dělníkům jejich práci co nejvíce usnadnit. Jak v co největší míře omezit lidskou práci a nahradit ji prací strojní.

Spolupráce 30 podniků a organizací vedená společností Metrostav začala přinášet kontury, které se postupně začaly zhmotňovat v montážních dílnách Metrostavu ve výsledný produkt – první tunelovací štít metra zkonstruovaný v Československu.

Po svém odzkoušení byl štít v březnu roku 1985 z dílen po částech přesunut k sestavení do montážní komory o průměru 7,8 m a délce 10 m, s navazujícím traťovým tunelem. Jeho nasazení bylo naplánováno na levý traťový tunel trasy B ze stanice Florenc do stanice Křižíkova. Spouštění dílů bylo prováděno v šachtě na spojení tras B–C a touto spojkou byly díly do montážní komory dopravovány. Dne 15. 6. 1985 byla základní montáž dokončena a byly zahájeny komplexní funkční zkoušky. O necelý měsíc později byla zahájena samotná ražba, během níž byl dopředu postupující štít doplňován o závěs, na kterém byla kupříkladu traťplošina či montážní plošina lutnového tahu. Prvních 6 m tunelu bylo vyztuženo litinovými segmenty, další část již podle projektu ostěním železobetonovým.

V říjnu 1985 pokračovala ražba v režimu komplexních funkčních zkoušek pod zatížením se současným závěsem osádek. Je zaznamenáno, že během ověřovacího provozu bylo na štítovém komplexu provedeno celkem 94 změn a doplňků.

Jak vlastně první československý tunelovací štít vypadal? Jednalo se o štít s frézou (obr. 9 a 10), pročež se dočkal označení RŠF-1. Jako



Obr. 8 Bednicí sekce mechanizovaného štítu TŠČB-3
Fig. 8 Formwork section of the mechanised shield TŠČB-3

in the best, this excavation was also the proverbial swan song of the TŠČB-3 mechanised shields on the Prague metro. compressed concrete tunnels are still in operation today as parts of Lines A and B; they visually demonstrate satisfactory quality without significant cracks, leaks or other defects in the construction of the lining, which, due to the nature of the execution, is not reinforced or waterproofed against groundwater in any way.

4. RŠF-1 TUNNELLING SHIELD WITH ROADHEADER

Ingenuity is characteristic of the Czechs. They have demonstrated it countless times in the form of various technical devices. It is therefore not surprising that from the first drives with non-mechanised shields, which were a real toil for the laboring personnel involved, engineers were concerned with ideas on how to make the work as easy as possible for the laborers. How to limit human work as much as possible and replace it with machine work. The cooperation of 30 companies and organisations led by Metrostav began to gain contours, which gradually began to materialise in Metrostav's fabrication workshops into the final product – the first subway tunnelling shield constructed in Czechoslovakia.

After its testing, in March 1985, the shield was moved from the workshops in parts to be assembled in an assembly chamber with a diameter of 7.8m and a length of 10m, with a connecting running tunnel. Its deployment was planned for the left-hand running tunnel of Line B from the Florenc station to the Křižíkova station. The lowering of the parts was carried out in a shaft on the branch connecting Line B to Line C. The parts were transported to the assembly chamber through this branch. On June 15, 1985, the basic assembly was completed and comprehensive functional tests began. Less than a month later, the actual tunnel excavation began, during which the advancing shield was supplemented with a backup, on which, for example, there was a transformer platform or an assembly platform for the ventilation duct. Initial 6m of the tunnel were stabilised with cast iron segments, the following part with a reinforced concrete lining according to the design.

In October 1985, tunnel excavation continued in the regime of comprehensive functional tests under the load with simultaneous crew training. It is recorded that a total of 94 changes and additions were made to the shield complex during the verification operation. What did the first Czechoslovak tunneling shield actually look like? It was a shield with a roadheader (Fig. 9, 10). For its the Czech name it received the designation RŠF-1. The SŽN-1S shield body was used, from which the internal partitions were removed and were replaced by a massive lower partition serving as a supporting bridge for placing the roadheader, segment erector and work platform. In

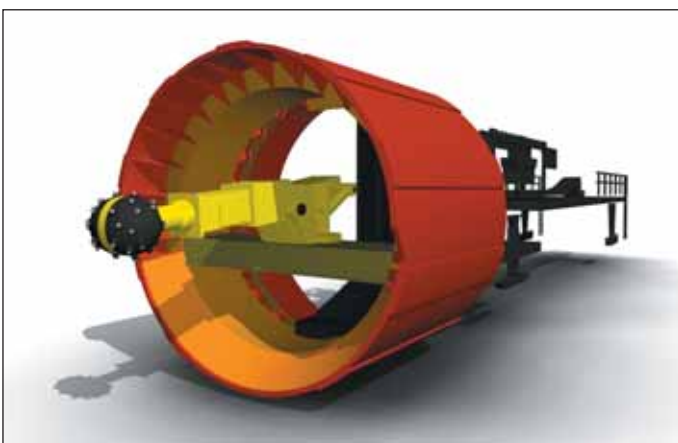


Obr. 9 Štít s frézou RŠF-1
Fig. 9 Shield with roadheader RŠF-1

štítu bylo užito těleso SČN-1S, ze kterého byly odstraněny vnitřní přepážky, jež byly nahrazeny mohutnou spodní přepážkou sloužící jako podpůrný most pro uložení frézy, ukladače ostění a pracovní plošiny. V zadní části štítu byl vsazen těsnicí prstenec sloužící jednak k opření tlačných válců a roznesení jejich silových účinků na ostění a zároveň k utěsnění mezikruží při výplňové injektáži. Rubaninu vynášel ze štítu hřeblový dopravník na dopravník pásový, který byl dále veden k výsypné stanici do vozíků kolejové drážky. Kromě dalších technologií byl závěs vybaven dopravní drážkou pro přisun dílců ostění k ukládači.

Tab. 3 Základní technické parametry razicího štítu s frézou RŠF-1

RŠF 1 – základní technické parametry	
Hmotnost	198 t
Délka	24 m
Průměr výrubu	5,6 m +/- 20 cm
Pracovní posuv frézy	1000 mm
Otáčení a naklápění ramene	± 45°
Pracovní tlak hydrauliky	4–16 MPa
Instalovaný příkon	270 kW



3D grafika stroje RŠF-1 (viz tab. 3)
3D graphics of RŠF-1 machine (See Table 3)

Štítem RŠF-1 bylo na ražených úsecích trasy B dosaženo průměrného měsíčního výkonu 79,92 m, nejvyšší měsíční výkon byl 164 m, což byl do té doby výkon historicky nejvyšší. Chystal se vývoj dalších štítů československé provenience. V plánu byl štít RŠF-2, který měl být podle tehdejších předsevzetí „doplňen o další nové myšlenky tak, aby byl postaven na průměrný měsíční výkon 120–140 m, v maximech 200 m“. K jeho výrobě však už nedošlo. Naše země v srdci



Obr. 10 Práce na čelbě štítu RŠF-1
Fig. 10 Work at the heading of RŠF-1 shield

the rear part of the shield, a sealing ring was inserted, serving both to prop the thrust cylinders and spread their force effects on the lining, and at the same time to seal the annulus during backfill grouting. The muck was removed from the shield by a scraper conveyor onto a belt conveyor, which was then led to the dumping station into the cars on a rail track. In addition to other technologies, the backup was equipped with a transport track for the supply of segments to the erector.

Table 3 Basic technical parameters of the tunnelling shield with roadheader RŠF-1

RŠF 1 – basic technical parameters	
Weight	198t
Length	24m
Excavated diameter	5.6m +/- 20cm
Roadheader working stroke	1000mm
Arm rotation and tilting	± 45°
Working pressure of hydraulic system	4–16MPa
Installed power input	270kW

With the RŠF-1 shield, an average monthly output of 79.92m was achieved on the driven sections of Line B, the highest monthly output was 164m, which was the historically highest output in history up to that time. The development of other shields of Czechoslovak provenance was about to take place. The plan included the RŠF-2 shield, which, according to the resolutions at the time, was to be „supplemented with other new ideas so that it would be built for an average monthly output of 120–140m, with a maximum of 200m“. However, its production never took place. Our country, in the heart of Europe, underwent a change in the political system and, in short order, a disintegration, and since the mid-nineties, the New Austrian Tunneling Method (NATM) has found its place in the limelight of tunnel construction methods.

5. EARTH PRESSURE BALANCE SHIELDS S-609, S-610

The wave of political upheavals that swept through Central, Eastern and South-Eastern Europe had an impact on various areas of life, including underground construction. In our country, railway, road and urban transport tunnels, which had been terminated in the previous period, started to be built again. The biggest change that characterises the local post-revolutionary era of underground construction was the adoption of the NATM, which established itself as the most widely used method of realisation of mined underground

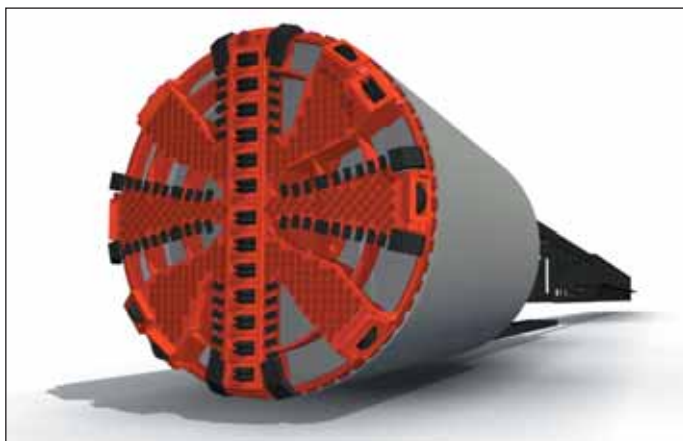
Evropy prošla změnou politického systému a v krátkém sledu také rozpadem a od poloviny devadesátých let si místo na výsluní metod výstavby tunelů našla Nová rakouská tunelovací metoda (NRTM).

5. ZEMINOVÉ ŠTÍTY S-609, S-610

Vlna politických převratů, která se prohnala střední, východní a jihovýchodní Evropou, měla dopad do nejrůznějších oblastí života, oblast podzemních staveb nevyjímaje. V tuzemsku se opět začaly stavět železniční, silniční a městské dopravní tunely, které byly v předchozím období odstaveny na vedlejší koleje. Největší změnou, která charakterizuje zdejší porevoluční éru podzemního stavitelství, bylo osvojení si NRTM, jež se etablovala v nejpoužívanější způsob realizace ražených podzemních děl v ČR. NRTM si našla své místo i na stavbách pražského metra a jejím prostřednictvím bylo možné razit mj. dvoukolejné traťové úseky či jednolodní stanice; a pro metodu štítování již nebyl prostor. Na její navrácení se na pražské metro bylo třeba počkat do roku 2011, na výstavbu pátého provozního úseku trasy A mezi stanicemi Dejvická a Nemocnice Motol.

Tab. 4 Základní technické parametry razicího štítu S-609

S-609 – základní technické parametry	
Hmotnost	800 t
Délka	102 m
Průměr výrubu	6,06–6,1 m
Počet řezných disků	21 ks
Nominální krouticí moment	4400 kNm
Otáčky řezné hlavy	max. 3 ot/min
Přítlak tlačných válců	38 926 kN
Instalovaný výkon	1850 kVa



3D grafika stroje S-609 (viz tab. 4)
3D graphics of S-609 machine (See Table 4)

Zde byly nasazeny dva zeminové štíty vyrobené německou firmou Herrenknecht pod sériovými čísly S-609 a S-610 (obr. 11). Štíty se skládaly z části štítové, dlouhé 8,5 m a části závěsné délky 93 m. V části štítové byly prováděny veškeré operace spojené s cykly ražby – tj. rozpojování horniny pomocí řezné hlavy, podpírání čelby upravenou zeminou, odtěžování zeminy a zajištění výrubu segmentovým ostěním (obr. 12). V části závěsu, kterou tvořilo sedm závěsných vozů, byly veškeré technologie potřebné k provozu a ovládání štítu, zařízení pro manipulaci se segmenty, pro injektáž mezikruží mezi výrubem a segmenty, pro čerpání důlních vod, větrání, prodlužování pásových dopravníků, zázemí pro pracovní četu apod. Štíty byly vybaveny množstvím počítačových jednotek a sledovacích čidel, které sbíraly nejrůznější data o stavu stroje, ale nepřímě také o chování horninového prostředí či množství vyplňové injektáže vně



Obr. 11 Štít S-610 ve stanici Bořislavka (2012)
Fig. 11 Shield S-610 in the Bořislavka station (2012)

works in the Czech Republic. The NATM also found its place in the construction of the Prague metro and it was possible to drive, among other things, double-track tunnel sections or one-vault stations; and there was no longer room for the shield driving method. Its return to the Prague metro had to wait until 2011, for the construction of the fifth operational section of route A between the Dejvická and Nemocnice Motol stations.

Table 4 Basic technical parameters of tunnelling shield S-609

S-609 – basic technical parameters	
Weight	800t
Length	102m
Excavated diameter	6.06–6.1m
Number of cutter discs	21 pcs
Nominal torque	4400kNm
Cutterhead rotation speed	max. 3 rev/min
Thrust cylinders pressure	38,926kN
Installed power input	1850kVa

Two earth pressure balance shields manufactured by the German company Herrenknecht under the serial numbers S-609 and S-610 were deployed here (Fig. 11). The shields consisted of a shield part, 8.5m long, and a 93m long backup. In the shield part, all operations connected with excavation cycles were carried out – i.e. rock disintegration using a cutting head, supporting the face with treated soil, removing the soil and securing the excavation with segmental lining (Fig. 12). In the backup part, which consisted of seven backup cars, there were all the technologies needed to operate and control the shield, equipment for handling segments, for grouting the annulus between the excavated surface and the segments, for pumping mine water, ventilation, extending belt conveyors, facilities for the work crew, etc. The shields were equipped with a number of computer units and tracking sensors that collected all kinds of data about the condition of the machine, but also indirectly about the behaviour of the rock environment or the amount of backfill grouting outside the lining. The machine was operated from the so-called pilot's cabin (Fig. 13), which contained a control panel and four screens displaying operating data, navigation, muck consistency, etc. In line with the fact that mechanised tunneling at the beginning of the 21st century has developed into a comprehensive method in which shields are only one element of a whole set of technologies, it is also necessary to mention all the accompanying technologies that were used on



Obr. 12 Montáž ostění erektorem na stroji S-609
Fig. 12 Assembly of lining by erector on S-609 machine

ostění. Stroj byl obsluhován z tzv. pilotní kabiny (obr. 13), která obsahovala řídicí pult a čtveřici obrazovek se zobrazením provozních údajů, navigace, konzistence rubaniny aj.

Ve shodě s tím, že se mechanizované tunelování na počátku 21. století vyvinulo v komplexní metodu, ve které jsou štíty jen jedním z prvků celého souboru technologií, je třeba zmínit i veškeré doprovodné technologie, které byly na metru V.A využívány. Jednalo se o výrobu prefabrikovaných železobetonových segmentů, které byly navrženy přímo pro konkrétní tunelovací stroj, dále pak o výrobu výplňové malty včetně čerpadel pro jejich transport do tunelovacího stroje. Materiálovou logistiku zajišťovaly víceúčelové kolové platformy (tzv. MSV), systém pásových dopravníků sloužil pro těžbu rubaniny. Vše muselo být navrženo dostatečně kapacitně tak, aby žádná z dílčích technologií nebyla tím pověstným nejslabším článkem řetězu a aby ani jeden z obou tunelovacích strojů nebyl některou z technologií limitován.

První ze strojů, který měl typové označení Herrenknecht S-609, byl smontován během prvního čtvrtletí 2011 a v dubnu tohoto roku zahájil ražbu ze šachty na Vypichu do stanice Petřiny. Druhý stroj, s typovým označením S-610 zahájil ražbu ze stejného místa s tříměsíčním časovým odstupem. Oba stroje postupně dorazily do rozestavěné stanice Petřiny, stanice byly protaženy a na konci stanice opětovně odstartovaly k ražbě navazujícího mezistančního úseku. Popsaný scénář se opakoval i ve stanici Nádraží Veleslavín a Bořislavka. Po absolvování asi poloviny z celkově raženého čtyřkilometrového úseku byly veškeré doprovodné technologie přemístěny ze staveniště Na Vypichu na staveniště v Evropské ulici. Vzhledem k tomu, že na druhém stroji bylo možno úročit zkušenosti nasbírané při ražbách prvního, mohl zeminový štít S-610 razit rychleji než S-609 a postupně redukovat původní tříměsíční časový odstup. To umožnilo souběh obou strojů před stanicí Dejvická, což dovolilo realizovat spektakulární společnou prorážku do prostoru obrátových kolejí stanice.

První nasazení technologie zeminových štítů v prostředí pražských geologických podmínek proběhlo úspěšně. Na obou štítech byla prokázána schopnost minimalizace poklesů objektů v povrchové zóně ovlivnění. Bylo dosaženo také požadované rychlosti výstavby obou jednokolejných tunelů. Realizační tým přinesl mnohá vylepšení a inovace jak při samotné ražbě (jedno z řešení bylo patentováno), tak především při průtazích stroje stanicemi, startech či samotné demontáži obou strojů.

6. ZÁVĚR

V současnosti probíhá výběrové řízení na zhotovitele trasy D pražského metra v úseku Olbrachtova – Nové Dvory. Zadávací dokumentace tohoto projektu předpokládá nasazení dvou zeminových



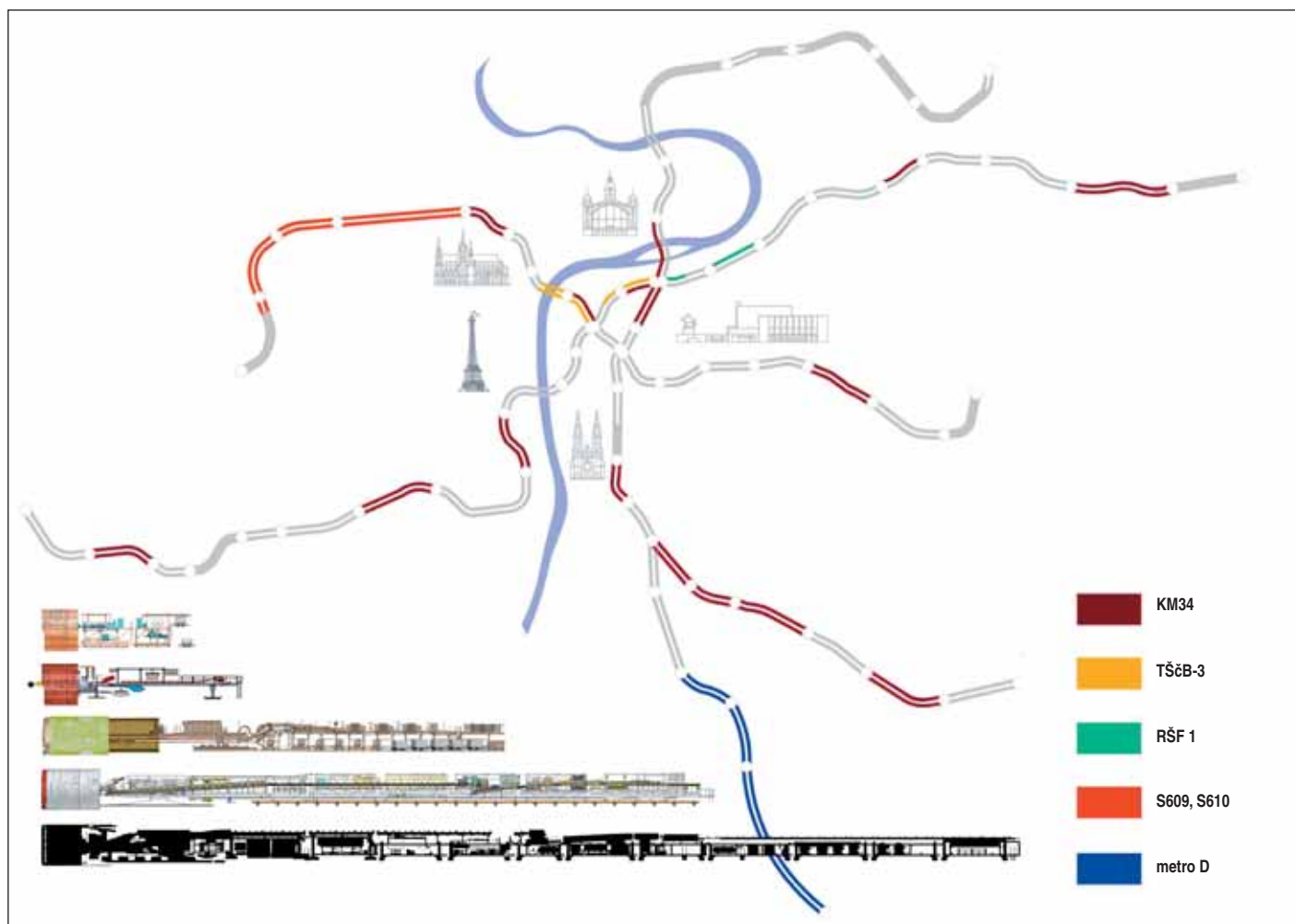
Obr. 13 Strojník v pilotní kabině zeminového štítu S-609
Fig. 13 Machine operator in pilot's cabin of earth pressure balance shield S-609

the VA metro line. It was a casting yard for reinforced concrete segments that were designed directly for a specific tunneling machine, and then a batching plant for backfill mortar including pumps for their transport to the tunneling machine. Material logistics were provided by multi-purpose wheeled platforms (so-called MSV), the belt conveyor system was used for removing muck. Everything had to be designed with sufficient capacity so that none of the sub-technologies was the proverbial weakest link in the chain and that neither of the two tunneling machines was limited by any of the technologies.

The first of the machines, which had the type designation Herrenknecht S-609, was assembled during the first quarter of 2011, and in April of that year it started to drive the tunnel from the shaft at Vypich to the Petřiny station. The second machine, with the type designation S-610, started driving from the same place three months later. Both machines gradually arrived at the Petřiny station under construction, were pulled through the station and at the end of the station they started again to excavate the connecting inter-station section. The described scenario was also repeated at the Nádraží Veleslavín and Bořislavka stations. After the completion of about half of the four-kilometer long section, all accompanying technologies were moved from the Na Vypichu construction site to the construction site in Evropska street. Since it was possible to capitalise on the experience gained during the driving by the first machine on the second machine, the S-610 earth pressure balance shield could drive faster than the S-609 and gradually reduce the original three-month time lag. This the simultaneous running of both machines in front of the Dejvická station possible, which allowed for a spectacular joint breakthrough into the area of the station's turn-back tracks. The first deployment of the earth pressure balance shield technology in Prague's geological conditions was successful. The ability to minimise object subsidence in the surface zone of influence was demonstrated on both shields. The required construction speed of both single-track tunnels excavation was also achieved. The implementation team brought many improvements and innovations both during the excavation itself (one of the solutions was patented), and above all during the pulling of the machine through the stations, starts or the disassembly of both machines itself.

6. CONCLUSION

Currently, a tender is underway for the contractor for route D of the Prague metro in the section Olbrachtova – Nové Dvory. The tender documents for this project envisage the deployment of two



Obr. 14 Přehled úseků pražského metra ražených štíty
 Fig. 14 Overview of Prague metro section driven by shields

štítů ve stavební jámě „Rezerva“ v Písnici a jejich ražbu do povrchové stanice Nádraží Krč (obr. 14). Po více než deseti letech se tak tunelovací štíty opět navrátí na ražby tras pražského metra a již nyní je jisté, že si připíší minimálně jedno „nej“ v rámci dosavadní historie výstavby pražského metra. A sice ražbu nejdelšího nepřerušného traťového úseku z jámy Rezerva do stanice Nové Dvory, jež přesáhne délku 3 km.

Na jmenovaném úseku se sice v budoucnu počítá s dvojicí stanic – Písnice a Libuš, ale tyto budou konstruovány ve stavebních jamách hloubených do již vyražených tunelů spolu s rozebráním segmentového ostění v tomto prostoru. Jaké další technické výzvy, neotřelá řešení, posuny dosavadních rekordů či konkrétní lidské příběhy nám nasazení zeminových štítů na prvním úseku trasy D přinese? Odpověď na tuto otázku je dosud otevřená a je ukryta v konturách budoucnosti.

Ing. PETR HYBSKÝ,
 petr.hybsky@m-tbr.cz,
 Metrostav-TBR a.s.

Recenzoval Reviewed: prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.

earth pressure balance shields in the construction pit „Rezerva“ in Písnice and their driving up to the Nádraží Krč at-grade station (Fig. 14). After more than ten years, the tunneling shields will return to the excavation of the Prague metro lines and it is already certain that they will claim at least one „the best“ in the history of the construction of the Prague metro. Namely, the excavation of the longest uninterrupted track section from the Rezerva pit to the Nové Dvory station, which will exceed a length of 3km. In the future, a pair of stations – Písnice and Libuš – will be planned on the named section, but these will be built in construction pits dug on already completed tunnels concurrently with the dismantling of the segmental cladding in this area. What other technical challenges, innovative solutions, shifts in previous records or specific human stories will the deployment of earth pressure balance shields on the first section of route D bring us? The answer to this question is still open and is hidden in the contours of the future.

Ing. PETR HYBSKÝ,
 petr.hybsky@m-tbr.cz,
 Metrostav-TBR a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] LAUDÁT, F. a kol. *Praha a metro*. Pro Inženýring dopravních staveb vydala Galery, Praha, 2004.
- [2] KYLLAR, E. a kol. *Metro metropole*. Inženýring dopravních staveb, Praha, 2016.
- [3] Zpravodaj Metro 1970–1990

SILNIČNÍ TUNEL NA NEJJIŽNĚJŠÍM FAERSKÉM OSTROVĚ SUĐUROY ROAD TUNNEL ON THE SOUTHERNMOST FAROE ISLAND OF SUĐUROY

JIŘÍ HORČIČKA, JAN SKÁLA

ABSTRAKT

Skupina Metrostav prostřednictvím své dceřiné společnosti Metrostav Norge AS získala na podzim roku 2022 zakázku na ražbu 1,2 km dlouhého tunelu na Faerských ostrovech. Tedy v působišti, ve kterém dosud žádná česká společnost tunelovou stavbu nerealizovala. O tunelu, který v budoucnu propojí vesnice Fámjin a Ørðavík, ale i o stavu tunelového stavitelství na Faerských ostrovech pojednává následující článek.

ABSTRACT

The Metrostav Group, through its subsidiary Metrostav Norge AS, won a contract for the excavation of a 1.2 km long tunnel in the Faroe Islands in the fall of 2022 year. That is, in an area where no Czech company has yet performed tunnel construction. The following paper discusses the tunnel that will connect the villages of Fámjin and Ørðavík in the future, as well as the state of tunnel construction in the Faroe Islands.

1. ÚVOD

Je tomu již šestnáct let od chvíle, kdy začala firma Metrostav a.s. své působení v severní Evropě. Tehdy uspěla ve výběrovém řízení na ražbu dvou silničních tunelů na severu Islandu. Tunely Ólafsjördur a Siglufjördur byly klíčem k otevření dveří k dalším severoevropským projektům – ražbě metra v Helsinkách, tunelu Nordfjördur na Islandu a následně další realizaci ve Finsku. Mezitím se společnosti podařilo uspět v Norsku na ražbě 1565 m dlouhého tunelu Bjornabakkane. V roce 2019 byla založena společnost Metrostav Norge AS. Za dobu svého působení v prostředí severní Evropy společnost vyrazila přes 35 km tunelů. V současnosti zahajuje ražbu dalšího tunelu, tentokrát na nejjižnějším ostrově Faerského souostroví – Suđuroy.

2. ZEMĚ TUNELŮM ZASLÍBENÁ

Faerské ostrovy jsou autonomní součástí Dánského království. Na své autonomii si výrazně zakládají a mají kupříkladu vlastní parlament (obr. 1). Na rozdíl od Dánska nejsou součástí Evropské

1. INTRODUCTION

It has already been sixteen years since the company Metrostav a.s. started its operations in Northern Europe. At that time, it was successful in the tender process for the excavation of two road tunnels in the north of Iceland. The Ólafsjördur and Siglufjördur tunnels were the key to opening the door to other Northern European projects – the excavation of the metro in Helsinki, the Nordfjördur tunnel in Iceland and then another construction project in Finland. Meanwhile, the company succeeded in excavating the 1565m long Bjornabakkane tunnel in Norway. Metrostav Norge AS was founded in 2019. During the period of its activities in the environment of Northern Europe, the company drove over 35km of tunnels. It is currently starting the excavation of another tunnel, this time on the southernmost island of the Faroe Islands – Suđuroy.

2. THE PROMISED LAND OF TUNNELS

The Faroe Islands are an autonomous part of the Kingdom of Denmark. They very pride themselves on their autonomy and have, for example, their own parliament (Fig. 1). Unlike Denmark, they are not part of the European Union or the Schengen area. Local residents very often mention that in terms of GDP per capita, they are the eighth richest country in the world.

The most important source of local income is fishing. Its share of exports amounts approximately to 95 per cent. Apart from producing a few of its own commodities, such as growing potatoes or raising sheep, the country is largely dependent on imports. An interesting fact is that even in the production of electricity, they have to rely on diesel-driven generators, because energy from renewable sources is not able to cover the needs of local residents. In line with the current trend towards green energy, hydro, wind and photovoltaic power plants are being built here, but for example in the year 2019, which was particularly dry and not very windy, only 40% of electricity was produced from renewable sources.

Sheep breeding is also an important element of the local economy. In the country where almost 54,000 people live, 70,000 pieces of this animal species are kept. Faroese wool products enjoy a very good reputation and sheep meat is a popular part of the local menu.



foto J. Skála photo J. Skála

Obr. 1 Budovy Faerského parlamentu
Fig. 1 Buildings of Faroe Islands parliament

unie ani schengenského prostoru. Zdejší obyvatelé velmi často zmiňují, že v přepočtu HDP na jednoho obyvatele jsou osmou nejbohatší zemí světa.

Nejdůležitějším zdrojem místních příjmů je rybolov. Jeho podíl na vývozu činí přibližně 95 %. Kromě produkce několika málo vlastních komodit, jakými je např. pěstování brambor či chov ovcí, je země ve velké míře závislá na dovozu. Zajímavostí je, že i v produkci elektrické energie se musí spoléhat na diesellové agregáty, neboť energie z obnovitelných zdrojů není schopna pokrýt potřeby místních obyvatel. Ve shodě se současným příklonem k zelené energii jsou zde budovány vodní, větrné či fotovoltaické elektrárny, ale například v roce 2019, který byl obzvláště suchý a málo větrný, se z obnovitelných zdrojů podařilo vyrobit jen 40 % elektrické energie.

Významným prvkem zdejšího hospodářství je také chov ovcí. V zemi, kde žije bezmála 54 000 obyvatel, je chováno na 70 000 exemplářů tohoto živočišného druhu. Výrobky z faerské vlny se těší velmi dobré pověsti a ovčí maso je oblíbenou součástí zdejšího jídelníčku.

Věřejnosti málo známou skutečností je, že Faerské ostrovy jsou zemí významně protkanou sítí silničních tunelů (tab. 1) [1]. Vůbec nejstarším z nich je tunel Hvalba vybudovaný v letech 1961–1963. Je dlouhý 1 450 m a má pouze jeden jízdní pruh. Pro možnost míjení protijedoucích vozidel jsou po délce tunelu výhybny. Světlá výška průjezdného profilu je 3,20 m, což znemožňuje průjezd rozměrnějším vozidlům. Podobné koncepce jsou i další tunely vystavěné v 70. a 80. letech minulého století.

Tab. 1 Přehled doposud realizovaných dopravních tunelů na Faerských ostrovech [3]

Název tunelu	Rok uvedení do provozu	Délka tunelu (m)
Hvalbiartunnilin	1963	1 450
Árnafjarðartunnilin	1965	1 680
Hvannasundstunnilin	1967	2 120
Sandvíkartunnilin	1969	1 500
Norðskálatunnilin	1976	2 520
Leynartunnilin	1977	760
Villingardalstunnilin	1979	1 193
Ritudalstunnilin	1980	683
Mikladalstunnilin	1980	1 082
Trøllanestunnilin	1985	2 248
Teymur í Djúpadal	1985	220
Leirvíkartunnilin	1985	2 238
Kunoyartunnilin	1988	3 031
Kollafjarðartunnilin	1992	2 816
Sumbiartunnilin	1997	3 240
Vágatunnilin	2002	4 940
Gásadalstunnilin	2006	1 445
Norðoyatunnilin	2006	6 186
Hovstunnilin	2007	2 435
Viðareiðistunnilin	2016	1 939
Eysturoyartunnilin	2020	11 200
Nýggi Hvalbiartunnilin	2021	2 500

V roce 2002 se začala psát kapitola místních podmořských tunelů (obr. 2), neboť tehdy byl zahájen provoz v prvním z nich – tunelu Vágatunnilin. Faerské souostroví totiž čítá celkem 18 ostrovů,

A fact little known to the public is that the Faroe Islands are a country significantly interwoven with a network of road tunnels (Table 1) [1]. The oldest of them is the Hvalba tunnel, built in 1961–1963. It is 1,450m long and has only one traffic lane. There are passing areas along the length of the tunnel for the possibility of passing oncoming vehicles. The clearance profile is 3.20m height, which makes it impossible for larger vehicles to pass through. The concept of other tunnels built in the 1970s and 1980s is similar.

Table 1 Overview of traffic tunnels constructed so far in the Faroe Islands [3]

Tunnel name	Year of tunnel opening to traffic	Tunnel length (m)
Hvalbiartunnilin	1963	1 450
Árnafjarðartunnilin	1965	1 680
Hvannasundstunnilin	1967	2 120
Sandvíkartunnilin	1969	1 500
Norðskálatunnilin	1976	2 520
Leynartunnilin	1977	760
Villingardalstunnilin	1979	1 193
Ritudalstunnilin	1980	683
Mikladalstunnilin	1980	1 082
Trøllanestunnilin	1985	2 248
Teymur í Djúpadal	1985	220
Leirvíkartunnilin	1985	2 238
Kunoyartunnilin	1988	3 031
Kollafjarðartunnilin	1992	2 816
Sumbiartunnilin	1997	3 240
Vágatunnilin	2002	4 940
Gásadalstunnilin	2006	1 445
Norðoyatunnilin	2006	6 186
Hovstunnilin	2007	2 435
Viðareiðistunnilin	2016	1 939
Eysturoyartunnilin	2020	11,200
Nýggi Hvalbiartunnilin	2021	2 500

In 2002, the chapter on local underwater tunnels (Fig. 2) began to be written, because that was when the operation of the first of them – the Vágatunnilin tunnel – began. The Faroe Archipelago has a total of 18 islands, the transport between them is significantly complicated and brings people a certain degree of isolation. Last year, the local minister of transport presented the construction of the local underwater tunnels as a kind of „sociological experiment“. Namely, that their existence and the acceleration of transport between the islands fundamentally changes the behaviour of people in relation to their place of residence. The previously hard-to-imagine daily commuting to work in the capital Tórshavn is suddenly a reality. The earlier voyage, which was a matter of several hours, is transformed into a journey by car in an order of tens of minutes. The territory thus becomes more integrated and communal.

The nearly five kilometer long two-lane Vágatunnilin tunnel was not born easily. Exploration work began already in 1988, and the mining itself a year later. However, as a result of the economic crisis, most of the construction projects were stopped, including Vágatunnilin. Mining resumed in 2000 and the tunnel was opened to traffic two years later.

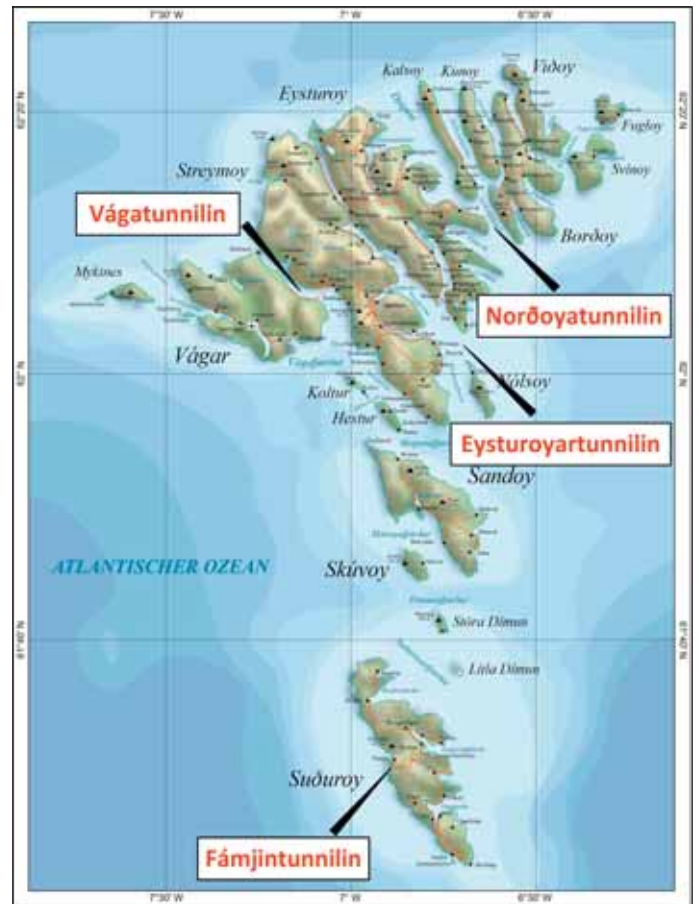
The second underwater tunnel is called Norðoyatunnilin and is 6,186m long. It was driven through a basaltic environment using the

doprava mezi nimi je výrazně komplikovaná a přináší lidem do určité míry izolaci. V loňském roce zdejší ministr dopravy prezentoval realizaci zdejších podmořských tunelů jako jakýsi „sociologický experiment“. Totiž, že jejich existence a zrychlení dopravy mezi ostrovy zásadně mění chování lidí ve vztahu k jejich bydliště. Dříve těžko představitelné denní dojíždění za prací do hlavního města Tórshavn je rázem skutečností. Dřívější plavba, která byla několikahodinovou záležitostí, se transformuje v dojezd osobním automobilem v řádech několika desítek minut. Území se tak stává celistvější a pospolitější.

Téměř pět kilometrů dlouhý dvoupruhový tunel Vágatunnilin se nerodil snadno. Průzkumné práce začaly již v roce 1988 a samotná ražba o rok později. V důsledku ekonomické krize však následně došlo k zastavení většiny stavebních projektů, Vágatunnilin nevyjímaje. Ražba byla obnovena v roce 2000 a do provozu byl uveden o dva roky později.

Druhý podmořský tunel se jmenuje Norðoyatunnilin a je dlouhý 6 186 m. Ražen byl v prostředí čediče Norskou tunelovací metodou. Důraz byl kladen na injektáž horninového prostředí s cílem vytvořit vodonepropustné prostředí. Tunel byl ražen protisměrně ze dvou čelb a v maximech bylo možné dosahovat denních výkonů až 30 m na obou čelbách. Doposud nejrozsáhlejším podmořským tunelem ve zdejším prostředí je Eysturoyartunnilin. Půdorysně je tunel složen ze tří směrových větví, které se setkávají v podzemní okružní křižovatce (obr. 3). V součtu dosahuje tunel délky 11 200 m, je dvoupruhový, v nejhlubším místě je situován 189 m pod mořské dno. Tunel je vyhledávanou turistickou atrakcí, protože kromě svého dopravního účelu je zajímavý také díly místního umělce Tróndura Paturssona. Jeho dílem je 80 m dlouhá skulptura, která v sobě spojuje lidskou siluetu a světelné efekty. Jelikož je dílo ocelové, počítá se s tím, že v čase bude díky oxidaci měnit barvu. Pro jízdu tunelem byla zkomponována speciální melodie, jejímž autorem je Jens L. Thomsen. Všechny zvuky ve skladbě byly nahrány během stavby tunelů. Chcete-li si hudební kompozici během jízdy vychutnat, není nic snazšího, než si během jízdy naladit frekvenci 97,00 FM.

Souhrnná délka všech silničních tunelů dosahuje úctyhodné délky 57,5 km a další jsou v dohledném časovém horizontu připraveny k realizaci. Je potěšitelné konstatovat, že rovněž čeští tuneláři



Obr. 2 Mapa Faerských ostrovů s vyznačením podmořských tunelů a tunelu Fámjin zdroj internet source internet

Fig. 2 Map of Faroe Islands with undersea tunnels and the Fámjin tunnel

Norwegian tunneling method. Emphasis was placed on grouting of the rock environment with the aim of creating a waterproof environment. The tunnel was excavated from both ends, from opposite headings, and at the maximum it was possible to achieve daily outputs of up to 30m at both headings. To date, the most extensive underwater tunnel in the local environment is the Eysturoyartunnilin. In plan, the tunnel is composed of three directional curves that meet at an

underground roundabout intersection (Fig. 3). In total, the tunnel is 11,200m long, has two lanes, and is located 189m below the seabed at its deepest point. The tunnel is a popular tourist attraction because, in addition to its transport purpose, the work of local artist Tróndur Patursson is also interesting. It is an 80m long sculpture that combines a human silhouette and light effects. Since the work is made of steel, it is expected that it will change colour over time due to oxidation. A special melody was composed for driving through the tunnel. Its author is Jens L. Thomsen. All the sounds in the song were recorded during the construction of the tunnels. If you want to enjoy a musical composition while driving, there is nothing easier than tuning in to 97.00 FM while driving.



zdroj internet source internet

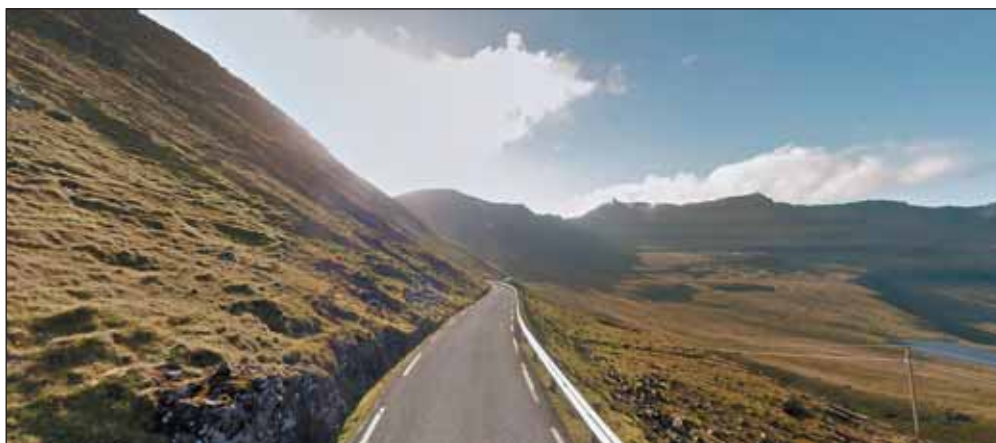
Obr. 3 Okružní křižovatka v tunelu Eysturoyartunnilin
Fig. 3 Roundabout intersection in the Eysturoyartunnilin tunnel

přispějí svým dílem ke zdejší síti tunelů.

3. TUNEL MEZI VESNICEMI FÁMJIN A ØRÐAVÍK

Během letitého působení na stavebních trzích severu Evropy navykli pracovníci MTS již tomu, že investiční záměry tamních radních zahrnují i dopravní spojení pro oblasti z běžného pohledu velmi řídkce osídlené. Především v zimních měsících se však některé oblasti stávají v podstatě nedostupné, nebo jen velmi obtížně dostupné, a silniční tunely mají tudíž pro místní obyvatele neocenitelný význam.

Nejinak je tomu i v případě silničního tunelu Fámjin, který propojí stejnojmennou vesnici Fámjin (108 obyvatel) s vesnicí Ørðavík (42 obyvatel). V současné době je možné dopravit se mezi oběma



zdroj maps.google.com source maps.google.com

Obr. 4 Současná cesta mezi vesnicemi Fámjin a Ørðavík
Fig. 4 Current road between villages of Fámjin and Ørðavík

The total length of all road tunnels reaches respectable 57.5km, and other tunnels are prepared for construction in the foreseeable future. It is gratifying to note that Czech tunnelers will also contribute to the local tunnel network.

3. TUNNEL BETWEEN THE VILLAGES OF FÁMJIN AND ØRÐAVÍK

During many years of working in the construction markets of northern Europe, Metrostav employees have already become accustomed to the fact that the investment plans of local councilors also include transport links for areas that are, from a common point of view, very sparsely populated. Especially in the winter months, however, some areas become essentially inaccessible, or only very difficult to be accessed, and road tunnels are therefore of invaluable importance to local residents.

It is not different in the case of the Fámjin road tunnel, which connects the village of the same name Fámjin (108 inhabitants) with the village of Ørðavík (42 inhabitants). Currently, it is possible to travel between the two villages on a narrow and winding road (Fig. 4), which is 8.7km long (despite the fact that the distance between the villages is 3.7km as the crow flies) and climbs respectable 351 meters in height. However, the biggest natural threat in this area is not snowfall, but rather unusually strong winds (Fig. 5). The employees of Metrostav Norge could experience its effects firsthand during the construction of the maintenance hall on the construction site utility, but also during normal travel, when the wind blows off the doors of cars.

The tunnel will be 1200m long, two-lane with one traffic lane in each direction (Fig. 6). There will be two emergency parking bays in the tunnel. The ground plan of the tunnel consists of three counter-curves with radii of 500m, 600m and 600m (Fig. 7). The longitudinal slope of the tunnel starts at approximately 6.5% in the direction of excavation, continues at approximately 5% along



foto J. Skála photo J. Skála

Obr. 5 Jižní pobřeží na ostrově Sudoroy
Fig. 5 Southern seashore of Sudoroy island

Základní údaje o stavbě:

Investor	Landsverk
Projektant	LBF Ráðgevandi verkfrøðingar (Faerské ostrovy)
Zhotovitel	J&K Petersen (Faerské ostrovy)
Dodavatel ražeb	Metrostav Norge
Typ stavby	silniční tunel
Délka tunelu	1200 m
Objem výrubu	cca 80 000 m ³

Basic project data

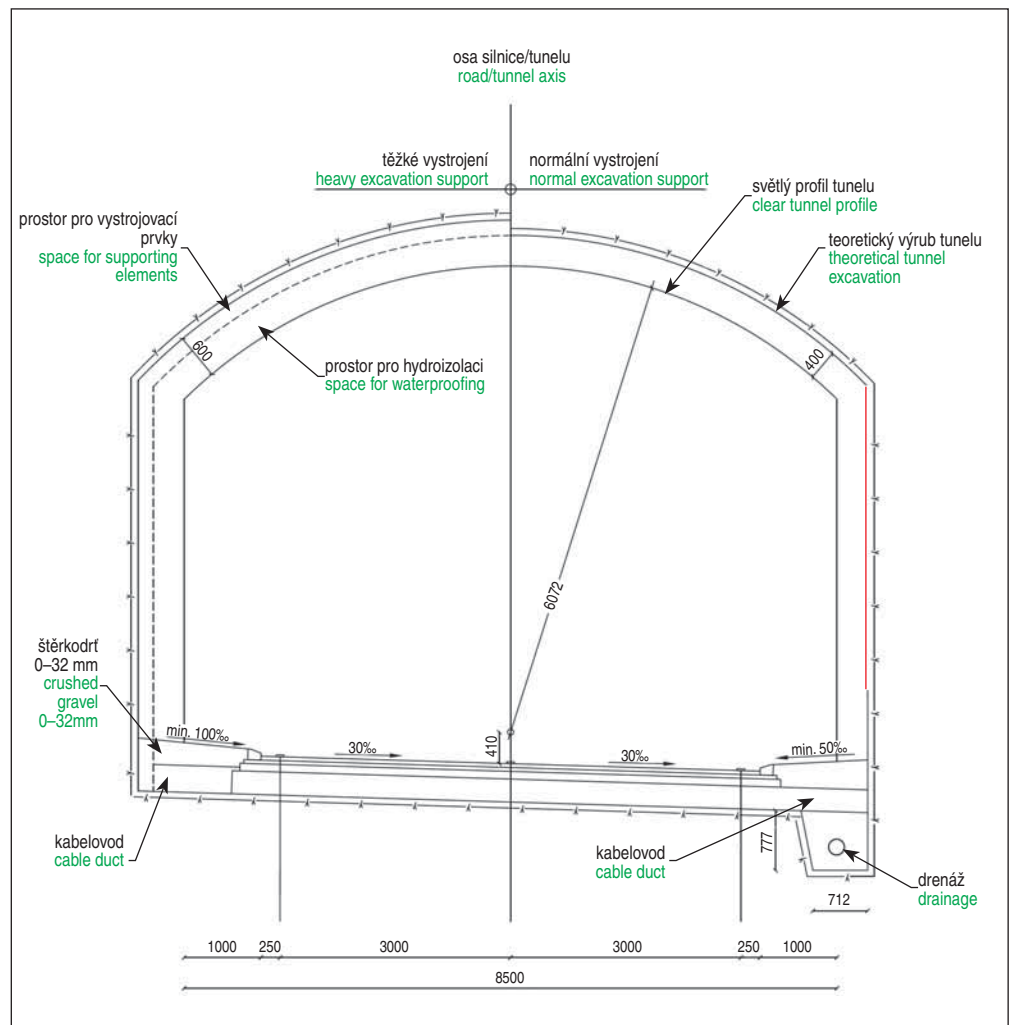
Client	Landsverk
Designer	LBF Ráðgevandi verkfrøðingar (Faroe Islands)
Contractor	J&K Petersen (Faroe Islands)
Mining contractor	Metrostav Norge
Construction type	road tunnel
Tunnel length	1200m
Excavation volume	ca 80,000m ³

vesnicemi úzkou a klikatou cestou (obr. 4), která je dlouhá 8,7 km (i přesto, že vzdálenost vesnic je vzdušnou čarou 3,7 km) a vystoupá úctyhodných 351 výškových metrů. Největší přírodní hrozbou v této oblasti však nejsou sněhové srážky, ale poněkud nezvykle silný vítr (obr. 5). Jeho účinky mohli na vlastní kůži okusit pracovníci Metrostavu Norge již při stavbě haly údržby na zařízení staveniště, ale i při běžném cestování, kdy vítr vyvrací dveře aut.

Tunel bude dlouhý 1200 m, dvoupruhový s jedním jízdním pruhem v každém směru (obr. 6). V tunelu budou dva nouzové zálivy. Půdorysně je tunel tvořen třemi protisměrnými oblouky s poloměry 500 m, 600 m a 600 m (obr. 7). Podélný sklon tunelu začíná ve směru ražby přibližně na 6,5 %, po většině své délky má hodnotu zhruba 5 % a těsně před koncem ražené části se blíží nule. Plocha příčného řezu je 67,01 m² v místě nouzových zálivů je příčný řez rozšířen na 85,17 m².

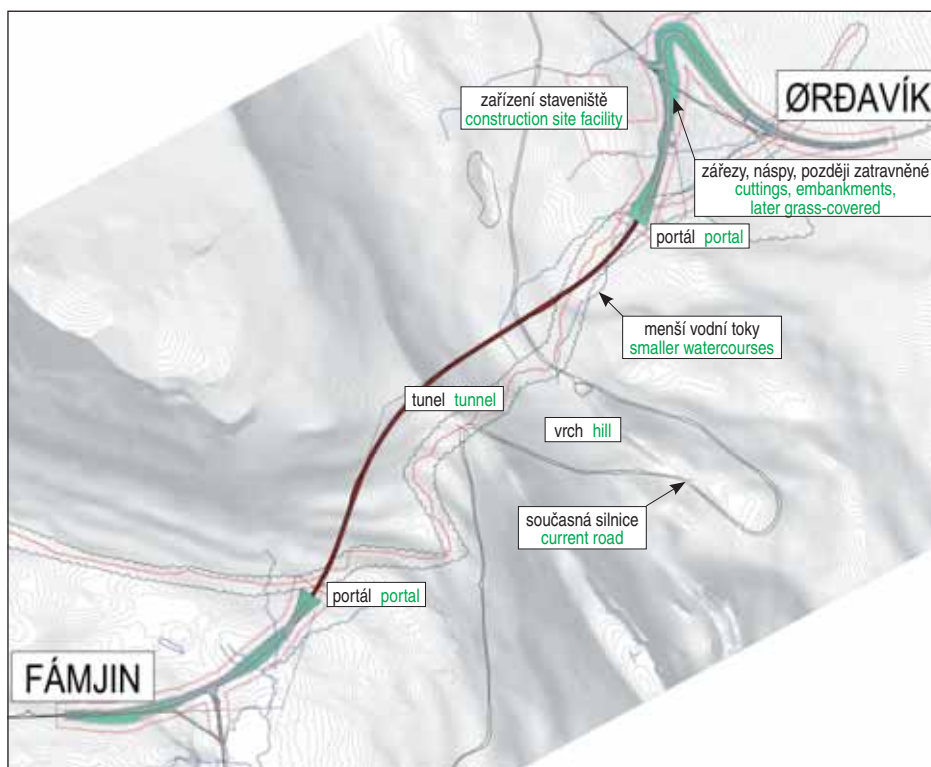
3.1 Geologické a hydrogeologické poměry

Oblast plánované trasy tunelu se nachází v souvrství Beinissvørð, které se skládá z lávových proudů o velké mocnosti. Jednotlivé lávové



zdroj realizační dokumentace stavby source detailed design

Obr. 6 Vzorový příčný řez raženým tunelem
Fig. 6 Typical cross-section through a mined tunnel



zdroj realizační dokumentace stavby source detailed design

Obr. 7 Situace trasy a tunelu
Fig. 7 Map of the alignment and the tunnel

most of its length, and approaches zero just before the end of the mined section. The cross-sectional area amounts to 67.01m²; in the place of emergency bays, the cross-section is expanded to 85.17m².

3.1 Geological and hydrogeological conditions

The area of the planned tunnel route is located in the Beinissvørð formation, which consists of great-thickness lava flows. Individual lava flows, which are separated by thin layers of reddish-brown volcanoclastic clay, are indicated by Roman numbers. The numbers indicate the order in which the magma flows occurred. Simply put, each basaltic lava flow represents one volcanic eruption in a given period of time (Fig. 8). In the direction out off the Ørðavík portal, excavation takes place in lava flow III, which is located approximately in the lower half of the face, consisting mainly of scoriobasalt, a dark-coloured volcanic rock with a lot of variously sized and usually smooth cavities. This is followed by a 10 to 40cm thick layer of mudstone. Lava flow IV

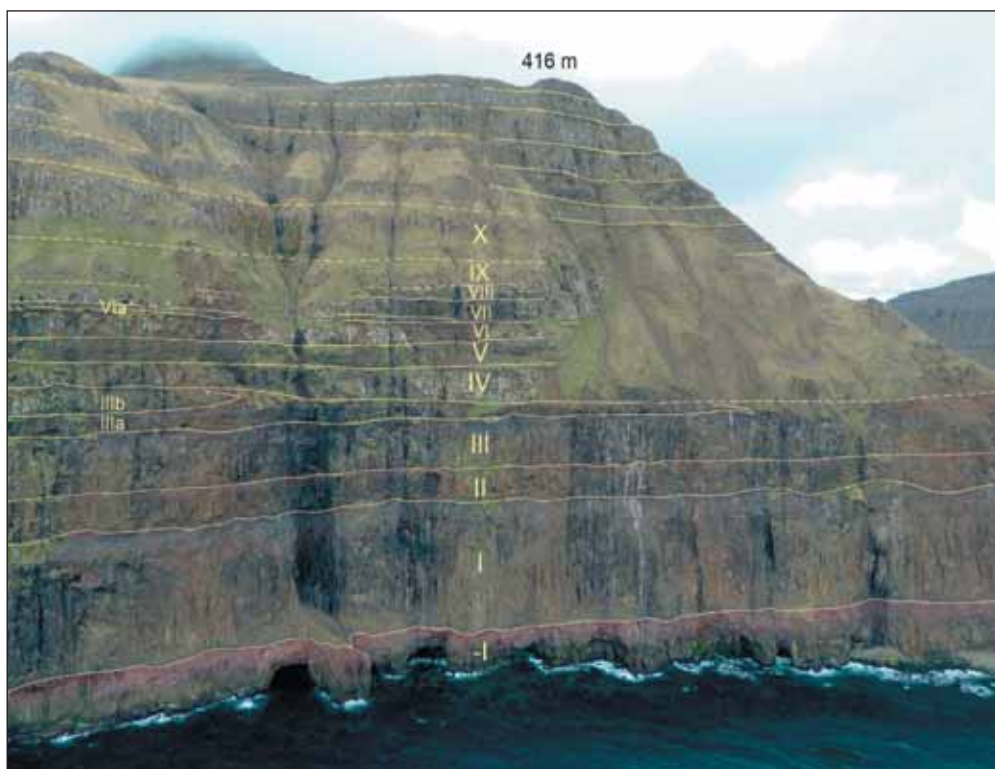
proudy, které jsou odděleny málo mocnými vrstvami červenohnědého vulkanoklastického jílovce, se označují římskými čísly. Čísla označují pořadí, v jakém k výlevům magmatu docházelo. Zjednodušeně řečeno, každý čedičový lávový proud představuje jednu sopečnou erupci v daném časovém období (obr. 8). Směrem od portálu Ørðavík ražba probíhá v lávovém proudu III, který se nachází přibližně ve spodní polovině čelby, tvořeném převážně skoriobazaltem, tmavě zbarvenou vulkanickou horninou se spoustou různě velkých a obvykle hladkých dutinek. Následuje vrstva jílovce o mocnosti 10 až 40 cm. Nad ní je lávový proud IV skládající se ze střídání pevného, tmavě šedého, převážně afanitického bazaltu a skoriobazaltu.

Maximální výška nadloží v trase tunelu je zhruba 150 m, což je hodnota, při které by se neměly vyskytovat zvýšené horninové tlaky. Severně od tunelu ležící vrch Fjallið Mikla (469 m n. m.) a jižně od tunelu ležící kopec Nónfjall (427 m n. m.) mohou zvýšené horninové tlaky způsobovat, avšak ne v takové míře, aby to ovlivnilo stabilitu tunelu.

Hydrogeologické poměry v oblasti stavby nebyly konkrétně zkoumány, avšak záznamy z jádrového vrtání naznačují v trase tunelu suché podmínky. V několika dalších vrtech v oblasti byly hlášeny ztráty technologické vody při vrtání, což dokazuje, že čedič může být propustný typicky podél puklin a poruchových zón. V terénu nad tunelem je jen několik menších jezírek a potůčků, dá se proto předpokládat, že množství vody pronikající do tunelu bude záviset na množství srážek. Z výše uvedeného nicméně vyplývá, že jisté přítoky vody do tunelu lze očekávat.

3.2 Způsob výstavby tunelu

Tunel bude realizován Norskou tunelovací metodou, při níž se aplikuje postup ražby „drill and blast“. Ražba bude probíhat



Obr. 8 Ilustrační obrázek jednotlivých vrstev lávových proudů
Fig. 8 Illustrative picture of the different layers of lava flows

zdroj geologická zpráva projektu source project geological report

consisting of alternating solid, dark gray, predominantly aphanitic basalt and scoriobasalt is above it.

The maximum height of the overburden on the tunnel route amounts approximately to 150m, which is a value at which increased rock pressures should not occur. Fjallið Mikla hill (469m a.s.l.) located north of the tunnel and Nónfjall hill (427m a.s.l.) located south of the tunnel may cause increased rock pressures, but not to such an extent as to affect the stability of the tunnel.

Hydrogeological conditions in the construction area have not been specifically investigated, but cored drilling records indicate dry conditions along the tunnel route. Several other wells in the area reported losses of process water during drilling, demonstrating that basalt can be permeable typically along fractures and fault zones. There are only a few small lakes and streams in the terrain above the tunnel, so it can be assumed that the amount of water penetrating into the tunnel will depend on the amount of precipitation. However, it follows from the above text that certain inflows of water into the tunnel can be expected.

3.2 Tunnel construction method

The tunnel will be constructed using the Norwegian tunneling method, which applies the „drill and blast“ tunnelling procedure. The tunnel will be driven upwards from one portal, from the village of Ørðavík towards Fámjin. After the tunnel excavation has been finished and supported with a primary lining, permanent measures against frost and water penetration into the tunnel will be implemented, including additional layers of sprayed concrete. Six



Obr. 9 Vrtací vůz v prostoru portálu tunelu – odkryté čediče lávového proudu
Fig. 9 Drilling jumbo in the tunnel portal area – exposed basalts of the lava flow

foto P. Mello photo P. Mello

dovrchně z jednoho portálu od vesnice Ørðavík směrem k Fámjinu. Po vyrazení a zajištění tunelu primárním ostěním budou následně provedena trvalá opatření proti mrazu a pronikání vody do tunelu včetně dalších vrstev stříkaného betonu [2].

Pro ražbu je předpokládáno šest vstrojovacích tříd, které byly stanoveny podle klasifikačního indexu Q. Rozpojování horniny je pomocí trhacích prací s maximální délkou záběru 4,5–5,0 m. Vrty pro trhací práce budou prováděny třílafetovým vrtacím vozem Sandvik DT1131i (obr. 9). Pro trhací práce budou používány emulzní trhavin. Nabíjení bude strojní s kontrolou nabíjeného množství a nabíjecí hustoty trhavin při plnění vrtů. Na roznět se použije počinová náložka s rozbuškou, která bude umístěna na konec plnicí hadice a zasunuta na dno vrtu, následně bude zahájeno elektricky řízené plnění vrtu emulzí. Obrysové a podobrysové vrty musí být vždy ládovány s použitím retrakční jednotky. Vrty nabité emulzí nebudou těsněny. Po každém nabíjení bude vytisknut záznam o spotřebě emulzních trhavin z plnicí jednotky, který bude přílohou záznamu o odpalu.

Po vyvětrání pracoviště se provede strojní obtrhání výrubu (tzv. scaling). Po jeho ukončení se přistupuje k ručnímu začišťení výrubu pomocí ruční obtrhávací tyče. Z výrubu se tak odstraní kusy horniny, které nebyly strženy strojně.

Nakládání rozpojené horniny bude prováděno strojně pomocí čelního kolového nakladače s bočním nebo čelním výsypem a odvoz zajistí nákladní vozy.

Zajištění výrubu se přednostně provádí kotvením. Podle zastížených vstrojovacích tříd se provádí buď systematické kotvení s projektovanou pozicí kotev, nebo kotvení nahodilé. V takovém případě směnový technik vyznačí pozice pro instalaci kotev. Na projektu budou používané následující typy kotev:

- mechanicky upínané a cementovou maltou injektované svorníky typů:
 - KombiBolt, délky 3 m, 4 m, 5 m Ø 20;
 - KombiBolt, délky 6 m Ø 25;
- hydraulicky upínané, osazené obturátorem pro dodatečné injektování:
 - kotvy s pakrem, délky 4 m Ø 20.

Dalším zajišťovacím prvkem je stříkaný beton. V nižších třídách se používá klasického plošného zástřiku výrubu tl. 80 mm až 150 mm, počínaje vstrojovací třídou IV se pro zajištění výrubu používá vyztužených oblouků ze stříkaného betonu. Oblouky se mohou instalovat při čelbě (okamžitě po odpalu daného záběru), nebo za čelbou (s určitým časovým odstupem). Výztužné oblouky se podle potřeby mohou kombinovat s jehlami. Právě tato kombinace bude hojně využita v počátku razicích prací pro řádné zajištění portálu z důvodu nízkého nadloží a nižší kvality horninového masivu v těchto místech.

4. SOUČASNÝ STAV PRACÍ

Výkopové práce na portálu, prováděné místní stavební firmou, započaly nad vesnicí Ørðavík v létě roku 2022. Metrostav Norge začal první pracovníky a stroje mobilizovat začátkem podzimu. Prvním silnějším zážitkem byla pro některé pracovníky premiérová dvouhodinová cesta z Tórshavnu na nejnižnější ostrov, kdy se největší faerský trajekt ve vlnách dost nepříjemně houpal a nakláníl. Strojní sestavu se až na menší komplikace podařilo dostat na Suðuroy již před polovinou října. V současné době probíhají za pochodu jak práce na zařízení staveniště, tak na portále. Jako první vyrostla hala údržby strojů, z důvodu proměnlivých klimatických podmínek bylo zapotřebí vybudovat i menší halu sloužící jako skladiště, tak aby materiál zůstal v teple a v suchu. Po vyhloubení portálové

excavation support classes are expected for driving the tunnel. They were determined according to the rock mass quality classification index Q. The rock is broken by blasting with a maximum length of the round of 4.5–5.0m. Blastholes will be drilled using a Sandvik DT1131i three-boom rig (Fig. 9). Emulsion explosives will be used for blasting. Charging will be mechanical with checking the loaded quantity and the charging density of the explosive while filling the wells. An initiation charge with a detonator will be used for firing. The detonator will be placed at the end of the filling hose and inserted to the bottom of the borehole; then electrically controlled filling of the borehole with emulsion will begin. Contour and sub-contour blastholes must always be loaded using a retraction unit. Holes filled with emulsion will not be tamped. After each firing, a record of the consumption of emulsion explosives from the loading unit will be printed and will be attached to the firing record.

After the workplace has been ventilated, mechanical scaling is carried out. After its completion, manual scaling is carried out using a manual scaling rod. In this way, pieces of rock that have not been torn down mechanically are removed from the excavation.

The loading of loose rock will be carried out mechanically using a front-end loader with side or front tipping, and the disposal will be provided by trucks. Stabilisation of the excavation is preferably carried out by anchoring. Depending on the excavation support class encountered, either the anchoring system with a designed position of the anchors is applied or random anchoring is carried out. In this case, the shift technician will mark the positions for the installation of the anchors. The following types of anchors will be used on the project:

- mechanically expanded and cement mortar-grouted rockbolt types:
 - CombiBolt, 3m, 4m, 5m long Ø 20;
 - CombiBolt, 6m long Ø 25;
- hydraulically expanded, fitted with a packer for additional grouting:
 - anchors with a packer, 4m long Ø 20.

Another supporting element is shotcrete. In the lower support classes, a classical application of an 80mm to 150mm thick layer of shotcrete on the excavated surface is used; starting with support class IV, reinforced arches made of sprayed concrete are used to support the excavation. The arches can be installed at the excavation face (immediately after shot firing) or at some distance from the face (with a certain time interval). Reinforcing arches can be combined with spiling as needed. It is this combination that will be widely used at the beginning of the excavation work to properly stabilise the portal because of the low overburden and the lower quality of the rock mass in these places.

4. CURRENT STATE OF WORK

Earthwork for the portal, carried out by a local construction company, began above the village of Ørðavík in the summer of 2022. Metrostav Norge started mobilising the first workers and machines at the beginning of autumn. The first strong experience for some workers was the premiere two-hour voyage from Tórshavn to the southernmost island, when the largest Faroese ferry rocked and tilted quite uncomfortably in the waves. Except for minor complications, the mechanical equipment set managed to get to Suðuroy before mid-October. Currently, work on both the construction site utility and the portal is underway. The machine maintenance shed was built first; due to variable climatic conditions it was also necessary to build a smaller shed serving as a warehouse, so that the material remained in heated conditions



Obr. 10 Pohled na budoucí portál tunelu Ørðavík
Fig. 10 View of the future Ørðavík tunnel portal

jámy na požadovanou úroveň začaly přípravné práce pro zaražení tunelu. Dne 16. 11. 2022 byl proveden podle plánu první odpal na srovnání portálové stěny. Poté byly zahájeny práce na zajištění portálu. Po důkladném začištění byl nanesen stříkaný beton, provedeno jehlování podél obrysu, zajištění pomocí svorníků a další vrstva stříkaného betonu. Tímto byl portál připraven k samotné ražbě tunelu.

5. ZÁVĚR

V období uzávěrky tohoto čísla časopisu Tunel se postupně schyluje k zahájení ražeb z portálu Ørðavík (obr. 10). Podle zvyklostí středoevropských tunelářů bude ražba probíhat pod patronací sošky sv. Barborky – patronky všech pracovníků v podzemních činnostech, která bude na pracovníky dohlížet z čestného místa na portálu tunelu. Slavnostní akt se uskutečnil 3. 12., tedy v předvečer svátku sv. Barbory. Svěcení provedl místní kněz. Pokud ražba tunelu proběhne podle předpokladů, tak bude počátkem roku 2024 možné čtenářům připravit nový článek, který již bude ražby rekapitulovat.

Ing. JIŘÍ HORČIČKA,
jiri.horcicka@metrostav-norge.no,
Ing. JAN SKÁLA,
jan.skala@metrostav-norge.no,
Metrostav Norge AS

Recenzoval *Reviewed*: Ing. Ermín Stehlík

and dry. After the portal pit excavation to the required level was finished, the preparatory work for the tunnel groundbreaking began. On 16/11/2022, the first fire shot to flatten the portal wall was carried out according to the plan. After that, work was started on the stabilisation of the portal. After thorough trimming, sprayed concrete was applied, forepoling along the contour was carried out as well as stabilisation with rockbolts and application of another layer of shotcrete. With this, the portal was ready for the actual excavation of the tunnel.

5. CONCLUSION

During the deadline period for this issue of Tunel journal, excavation from the Ørðavík portal is gradually approaching (Fig. 10). According to the customs of the Central European tunnelers, the excavation will take place under the patronage of the statuette of Saint Barbara – the patroness of all participants in underground activities, who will supervise the workers from a place of honour at the tunnel portal. The ceremonial act took place on December 3, i.e. on the eve of St. Barbara's feast day. The consecration was performed by a local priest. If the excavation of the tunnel proceeds according to the assumptions, it will be possible to prepare a new paper for readers in early 2024, which will already recapitulate the excavations.

Ing. JIŘÍ HORČIČKA,
jiri.horcicka@metrostav-norge.no,
Ing. JAN SKÁLA,
jan.skala@metrostav-norge.no,
Metrostav Norge AS

LITERATURA / REFERENCES

- [1] CHABROŇOVÁ, J., KLEPSATEL, F. Cestné tunely na Faerských ostrovoch. *Tunel*, 1/2013, 2013.
- [2] VIDO, A. *Výstavba silničního tunelu Famjin*. Provozní dokumentace stavby, technologický postup, 2022.
- [3] www.wikipedia.org

UZEL 5 PLZEŇ, TUNELOVÝ OBJEKT KŘÍŽENÍ ŽELEZNIČNÍ A SILNIČNÍ TRASY

NODE 5 PLZEŇ, TUNNEL OBJECT ON INTERSECTION OF RAIL AND ROAD ROUTES

LUDEK RAJS, TOMAS KOHOUT, PETR SVOBODA

ABSTRAKT

Intravilán velkých měst čelí stále většímu nedostatku prostoru pro vedení tras dopravních cest při jejich rekonstrukci či zcela novém vedení. Dopravní inženýři musí proto použít svého důvtipu a při trasování tohoto druhu staveb přicházet s novými a neotřelými řešeními. Jedním z příkladů popsaného fenoménu je projekt „Uzel Plzeň, 5. stavba – Lobzy – Koterov“, v jehož rámci dochází ke křížení silničních a železničních tras pod takovým úhlem, že bylo třeba jej realizovat mimoúrovňově. Článek popisuje technické parametry zmíněného projektu. Přibližuje geologické podmínky, do kterých je stavební objekt zasazen, projekční přípravu stavby a v neposlední řadě shrnuje dosavadní poznatky z její realizace.

ABSTRACT

The urban areas of large towns face an increasing lack of space for designing routes for transport structures during their reconstruction or completely new routes. Traffic engineers must therefore use their ingenuity and come up with new and innovative solutions when designing routes for this type of construction. One of the examples of the described phenomenon is the project „Plzeň Node, 5th construction section – Lobzy – Koterov“ in which the road and railway routes cross at such an angle that a grade-separated design had to be used. The paper describes the technical parameters of the above-mentioned project. It describes the geological conditions in which the construction object is placed, the design preparation of the construction and, last but not least, summarises the knowledge gained so far from the work.

1. ÚVOD

Výstavba tzv. Nového spojení v Praze, které je významným železničním uzlem spojujícím Hlavní nádraží, Masarykovo nádraží a nádraží Libeň, Vysočany a Holešovice, přinesla mj. do stavební terminologie nový pojem. Tím pojmem je „tunelový most“, tedy konstrukce, v rámci které se mimoúrovňově kříží trasy tím způsobem, že ta na nižší výškové úrovni je vedena uvnitř hloubeného tunelu, naopak ta ve vyšší výškové úrovni je vedená na stropní desce hloubeného tunelu. V rámci Nového spojení byl tunelový most realizován na km 3,319 pod tratí Praha – Turnov. Jeho délka je 130 m. Principiálně podobný typ konstrukce má v budoucnu vzniknout v Plzni, jen s tím rozdílem, že zatímco na Novém spojení (obr. 1) se křížily dvě železniční trasy jednoho správce, dojde v Plzni ke křížení železničních a silničních tras dvou různých správců – Ředitelství silnic a dálnic (ŘSD) a Správy železnic (SŽ).



Obr. 1 Nové spojení
Fig. 1 New Connection

1. INTRODUCTION

The construction of the so-called New Connection in Prague, which is an important railway junction connecting Hlavní Nádraží railway station, Masarykovo Nádraží railway station and Libeň, Vysočany and Holešovice stations, among other things, brought a new term into the construction terminology. That term is „Tunnel bridge“, i.e. a structure in which the routes cross on separate grades in such a way that the one at a lower height level is led in a cut-and-cover tunnel and, on the contrary, the one at a higher height level is led on the roof deck of the cut-and-cover tunnel. As part of the New Connection, a tunnel bridge was built on km 3.319 under the Prague – Turnov railway track. It is 130m long. A principally similar type of structure is to be created in Plzeň in the future, with the only difference being that while two railway routes of one administrator crossed at the New Junction (Fig. 1), railway and road routes of two different administrators – the Directorate of Roads and highways (ŘSD) and Railway Administration (SŽ) – will cross in Plzeň.

2. PROJECT PREPARATION

The new construction of the road route I/20 is being prepared by the ŘSD. It is an important backbone road that carries transit transport through the center of Plzeň and at the same time links Karlovy Vary, Písek and České Budějovice. This road is to run for a substantial part of its length near the Plzeň – České Budějovice railway line and is to cross it at approximately at the chainage of 1.350km. The crossing should take place at a very sharp angle, which does not allow the use of classic bridge structures.

While the two structures meet spatially, they diverge in time. The railway administration is already carving out a set of structures called Plzeň Node (Fig. 2), in the case of the I/20 road, the design is being processed at the stage of the design for issuance of zoning and planning decision, and the construction is expected only in the years 2029–2032. It was therefore decided that the so-called

2. PŘÍPRAVA PROJEKTU

Novostavbu silniční trasy I/20 připravuje ŘSD. Jedná se o důležitou páteřní komunikaci převádějící tranzitní dopravu přes centrum Plzně a napojující současně Karlovy Vary, Písek a České Budějovice. Tato komunikace má být v podstatné části své délky vedena v blízkosti železniční tratě Plzeň – České Budějovice s tím, že cca v km 1,350 ji má křížit. Ke křížení má dojít pod velmi ostrým úhlem, který nedovoluje použít klasické mostní konstrukce.

Zatímco prostorově se obě stavby potkávají, časově se rozcházejí. SŽ již soubor staveb s názvem Uzel Plzeň realizuje (obr. 2), u silnice I/20 probíhá zpracování dokumentace ve stupni DÚR, s jejím provedením se počítá až v letech 2029–2032. Bylo proto rozhodnuto, že v místě křížení obou tras bude v předstihu proveden tzv. zárodek budoucího silničního tunelu tak, aby jeho konstrukce zbytečně nenavýšovala objem prací stavby dráhy, ale zároveň takovým způsobem, aby jej bylo možné využít pro stavbu silničního tunelu, bez podstatného dopadu stavebních prací jak na konstrukci trati v nadloží, tak na drážní provoz.

Základní údaje o stavbě

Název stavby	Uzel Plzeň, 5. stavba – Lobzy – Koterov
Investor stavby	Správa železnic, s. o.
Název objektu	SO 93–38–61 Tunelový objekt v km 346,510 pro křížení se silnicí I/20, 1. část
Investor objektu	Ředitelství silnic a dálnic ČR
Projektant objektu	SUDOP PRAHA a.s.
Zhotovitel	Sdružení Metrostav a.s. a Chládek & Tintěra, a.s.
Zhotovitel konstrukcí speciálního zakládání	Zakládání staveb, a.s.
Geotechnický monitoring	GEOtest, a.s.
Geotechnický dozor investora	SG Geotechnika a.s.

3. INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY

Stavba zárodku tunelu probíhá převážně v prostředí říční terasy. Inženýrskogeologický profil je konformní (od povrchu terénu): kvarterní pokryvy, hrubozrnná klastika terasy, prachovce a břidlice skalního podloží.

Pro stavbu zásadní štěrky terasy odpovídají třídě G3/G-F a jsou typicky ulehle. Obsahují kameny a balvany až do velikosti přesahující profil průzkumných sond. Mocnost této vrstvy je proměnná v závislosti na průběhu geologického podloží. Ve štěrčích byly ověřeny neprůběžné jemnozrnné vložky klasifikované jako F4/CS, příp. F6/CL, konzistence pevné.

Předkvartérní podloží vystupuje nejbližší povrchu v severní části staveniště – cca 5 až 6 m pod stávajícím terémem – v místech nad horní hranou zářezu železniční trati. Odpovídá to hloubce pouhých



Obr. 2 Letecký pohled na stavbu Uzlu 5
Fig. 2 Aerial view of the Node 5 construction

stub of the future road tunnel will be constructed in advance at the intersection of the two routes so that its construction does not unnecessarily increase the volume of railway construction work, but at the same time in such a way that it can be used for the construction of the road tunnel without significant impact on construction operations neither on the construction of the railway track in the overburden nor on the railway operation.

Basic project data

Project name	Plzeň Node, 5 th construction section – Lobzy – Koterov
Project owner	Správa železnic, s. o.
Object name	SO 93–38–61 tunnel object at km 346.510 for intersection with road I/20, part 1
Object owner	Ředitelství Silnic a Dálnic ČR
Object designer	SUDOP Praha a.s.
Contractor	Consortium of Metrostav a.s. and Chládek & Tintěra, a.s.
Contractor for specialist foundation structures	Zakládání staveb, a.s.
Geotechnical monitoring	GEOtest, a.s.
Project owner's geotechnical supervision	SG Geotechnika a.s.

3. ENGINEERING GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS

The construction of the tunnel stub takes place mainly in the environment of a river terrace. The engineering geological profile is conformal (from the ground surface): Quaternary covers, coarse-grained clastics of the terrace, siltstone and shale of the bedrock.

Terrace gravels, which are essential for the construction, correspond to class G3/G F and are typically compacted. They contain rocks and boulders up to a size exceeding the profile of the probe holes. The thickness of this layer is variable depending on the course of the geological bedrock. Discontinuous fine-grained

cca 1 až 1,5 m od úrovně temene kolejnice (TK) v zářezu stávající železniční trať. Dále k jihu předkvartérní podloží upadá a mění se i jeho charakter. V oblasti nad zářezem železniční trati bylo zastíženo v hloubce 7 až 8 m pod terénem, což odpovídá hloubce cca 5,5 až 6,5 m pod úrovní TK stávající trati. V severní části staveniště je podloží tvořeno prachovcem, při povrchu třídy R5, hlouběji R4, resp. R4 až R5 [5]. V jižní části staveniště je předkvartérní podloží budováno střídáním prachovce břidlicí, u povrchu a hlouběji kvality R5, resp. R5 až R6. Předkvartérní podloží však nebylo vůbec zastíženo dvěma sondami předběžného geotechnického průzkumu ani do hloubky 12 a 14 m. Proto byly v rámci podrobného geotechnického průzkumu v blízké poloze provedeny ověřovací vrty, které pak zastihly předkvartérní podloží v obvyklé hloubce. Může to nasvědčovat existenci úzkých hlubokých strží nebo přehlušených koryt řeky. Tyto obavy se však během výstavby zárodku tunelu zatím nepotvrdily, nicméně nepřímým důkazem by mohla být poměrně vysoká propustnost i zvodnění terasy a podloží, zaznamenaná při čerpání vody ze stavební jámy [1].

4. PARAMETRY A STAVEBNÍ ŘEŠENÍ BUDOUCÍHO SILNIČNÍHO TUNELU

Silnice I/20 bude pod tratí vedena v tunelu, který bude realizován částečně metodou čelního odtěžování pod ochranou stropní desky a částečně hloubením v pažené stavební jámě. Ta bude zajištěna dočasnou konstrukcí tvořenou stěnou z převrtávaných pilot kotvených pramencovými kotvami. Půdorysný rozsah jámy tak může plně využít velmi stísněný prostor jak pro zařízení staveniště, tak i pro vlastní provádění konstrukcí. Pažící stěna je navržena jako (dočasně a přiměřeně) vodonepropustná, vetknutá do skalního podloží a uzavřená po celém obvodu tak, aby i při realizaci konstrukcí z pracovních plošin pod úrovní HPV (hladiny podzemní vody) nepřesáhly přítoky podzemní vody množství zvladatelná provozním čerpáním.

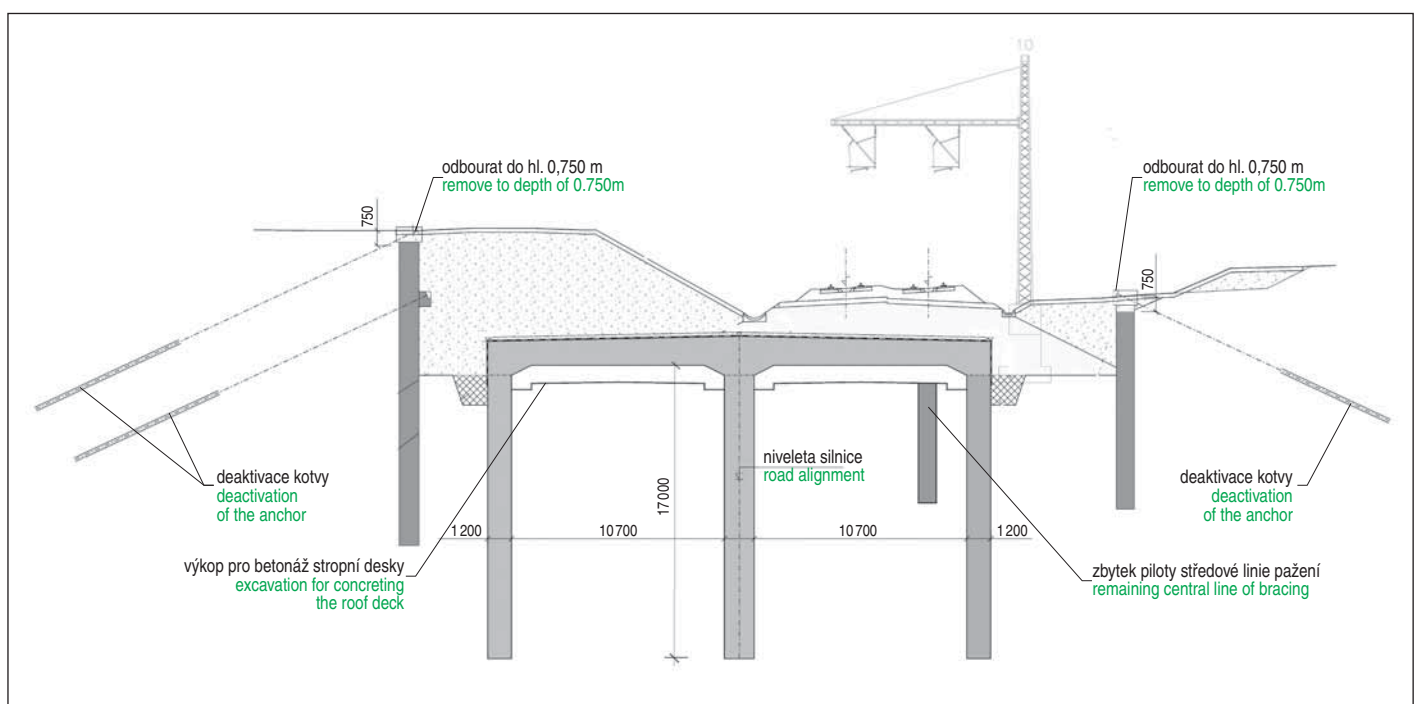
Hloubený tunel bude mít obdélníkový příčný profil, převážně dvoukomorový. Ve staničení budoucí silnice I/20 se však tato základní geometrie tunelu mění, a to následovně:

interbeds classified as F4/CS or F6/CL, with hard consistency, were verified in the gravels.

The pre-Quaternary bedrock emerges closest to the surface in the northern part of the construction site – approx. 5 to 6m below the existing terrain – in places above the upper edge of the railway track cutting. This corresponds to a depth of only approx. 1 to 1.5m from the level of the top of the rail in the existing railway track cutting. Further south, the bedrock declines and its character also changes. In the area above the railway track cutting, it was found at a depth of 7 to 8m below the ground, which corresponds to a depth of approx. 5.5 to 6.5m below the top of rail level of the existing track. In the northern part of the construction site, the underlier consists of siltstone, at the surface class R5, deeper R4 or R4 to R5 [5]. In the southern part of the construction site, the bedrock is built by siltstone alternating with shale, at the surface quality R5 and deeper quality R5 to R6. However, the pre-Quaternary bedrock was not encountered at all by the two probes of the preliminary geotechnical survey even to a depth of 12 and 14m. Therefore, verification boreholes were carried out in a nearby location as part of a detailed geotechnical survey. They encountered the bedrock at the usual depth. It may indicate the existence of narrow deep ravines or over-deepened riverbeds. However, these concerns have not yet been confirmed during the construction of the tunnel stub, however, indirect evidence could be the relatively high permeability and aquifer saturation of the terrace and bedrock, recorded when water was being pumped from the construction pit [1].

4. PARAMETERS AND CONSTRUCTION SOLUTION TO THE FUTURE ROAD TUNNEL

The I/20 road will run under the railway track in a tunnel, which will be carried out partly by the top down system under the protection of the roof deck and partly by excavation in a braced construction pit. The pit will be secured by a temporary structure consisting of a secant bored pile wall anchored with stranded anchors. The ground plan extent of the pit can thus fully utilise the very constricted space both for the equipment of the construction



Obr. 3 Příčný řez hloubeným tunelem

Fig. 3 Cross-section through the cut-and-cover tunnel



Obr. 4 Fréza a drapák pro realizaci podzemních stěn
Fig. 4 Hydroraise mill and grab for construction of diaphragm walls

- km 0,360–0,380

Průřez bude vpravo doplněn křídlem z podzemní stěny. Křídlo umožňuje napojení zářezu silnice I/20 na násyp železniční trati.

- km 0,380–0,450

Pravá tunelová trouba, jednokomorový tunel. Na tuto troubu pak v budoucnosti naváže zářez silnice I/20.

- km 0,450–0,580

Základní profil dvoukomorového tunelu.

V tunelu je navržena kategorie pozemní komunikace T-7,5 podle ČSN 73 7507, směrově rozdělená. Každý dopravní směr povede v samostatném jízdním pásu se dvěma jízdními pruhy, každý jízdní pás bude vedený v oddělené tunelové troubě. Nouzový chodník je navržen vždy po obou stranách jízdních pásů. Návrhová rychlost v tunelu je 70 km/h.

Příčný řez zárodku budoucího tunelu je patrný z obr. 3. Světla šířka je 10,7 m, výška průjezdního prostoru je 4,8 m, s tolerancí $\pm 0,15$ m. Celková délka objektu je 220 m, z toho celková délka zastropěného tunelu činí 200 m, s délkami levé tunelové trouby 130 m a pravé tunelové trouby 200 m.

Statické řešení tunelu musí respektovat zatěžovací stavy měnící se v průběhu výstavby a následně v období užívání. Jak je uvedené již výše, jde o jednokomorový nebo dvoukomorový rovinný rám, který nelze při čelním odtěžování uzavřít vnitřní základovou deskou; to je možné až v konečném stadiu stavby.

Pro budoucí tunel na silnici I/20 tak již byly v rámci modernizace železničního uzlu Plzeň dokončeny následující části:

- svislé nosné stěny tunelu;
- stropní deska tunelu vybetonovaná na upraveném zemním tělese;
- plošná vnější hydroizolace stropní desky tunelu;
- zpevněný železniční spodek trati z prostého betonu, nacházející se v přechodové oblasti, předcházelo tomu nezbytné dočasné zajištění stavební jámy (viz výše) se souběžným čerpáním vody.

Svislé nosné stěny tunelu jsou provedené jako monolitické železobetonové podzemní (obr. 4). Krajiní v tloušťce 1200 mm,

site facility and for the construction operations themselves. The shoring wall is designed to be (temporarily and reasonably) impermeable, keyed into the bedrock and closed around the entire perimeter so that, even when carrying out structures from working platforms below the water table level, groundwater inflows do not exceed the amount manageable by operational pumping.

The cut-and-cover tunnel will have a rectangular cross-section, mainly with two chambers. However, at the future I/20 road chainage, this basic tunnel geometry changes as follows:

- km 0.360–0.380

The cross-section will be supplemented on the right side by a wing of the diaphragm wall. The wing makes the connection of the cutting of the road I/20 to the embankment of the railway track possible.

- km 0.380–0.450

The right-hand tunnel tube, single-chamber tunnel. In the future, the I/20 road cutting will connect to this tube.

- km 0.450–0.580

Basic profile of a double-chamber tunnel.

The dual carriageway category T-7.5 according to ČSN 73 7507, is designed in the tunnel. Each traffic direction will lead in a separate carriageway with two lanes, each carriageway will be led in a separate tunnel. The emergency walkway is always designed on both sides of the carriageways. The design speed in the tunnel is set at 70km/h.

A cross-section of the stub of the future tunnel can be seen in Fig. 3. The clearance profile width of 10.7m and the clearance profile height of 4.8m are designed, with a tolerance of ± 0.15 m. The object is 220m long in total, of which the total length of the roofed tunnel is 200m, with the lengths of the left-hand tunnel tube of 130m and the right-hand tunnel tube of 200m. The static design of the tunnel must respect the load conditions that change during construction and subsequently during the period of the use. As mentioned above, it is a single-chamber or double-chamber plain frame that cannot be closed by an internal base slab during



Obr. 5 Betonáž stropní desky
Fig. 5 Concreting of a roof deck slab



Obr. 6 Izolace stropní desky
Fig. 6 Roof deck waterproofing

středové 1500 mm. Jsou vetknuté 7,5 m pod úroveň spodní hrany vnitřní desky tunelu. Hloubka i tloušťka stěn byly navrženy s ohledem na postup odtěžování pod ochranou stropní desky tunelu a rovněž na zatížení od definitivního provozu silničního tunelu, taktéž se započítáním vztlaku.

Stropní deska tunelu byla navržena jako monolitická železobetonová (obr. 5), rámově spojená se svislými stěnami. Na spodním líci je deska při navázání na stěny zesílená v délce 1000 mm náběhy vysokými 500 mm. Na horním líci je navržena ve střeovitém slonu 2 % od osy pozemní komunikace. V podélném směru je rozdělena na dvanáct dilatačních celků, odpovídajících dvěma nebo třem lamelám podzemních stěn.

Při stavbě silničního tunelu bude rámová konstrukce dokončovaná spodní **vnitřní základovou deskou**.

Nosné stěny i stropní deska jsou provedené z vodonepropustného betonu. Stropní deska je navíc z rubu chráněná izolací (obr. 6) proti tlakové vodě. Tu představuje penetračně adhezní nátěr, pásová izolace z modifikovaného asfaltu, ochranná vrstva netkané geotextílie a separační PE fólie tloušťky 0,3 mm. V rozích je hydroizolace přetažena přes pracovní spáru stropní desky a svislých nosných stěn [2].

5. POSTUP REALIZACE STAVBY

Stavební práce byly zahájeny v listopadu 2020. V první fázi realizace byly prováděny bez omezení provozu na stávající dvoukolejně trati. Probíhaly přípravné práce, bylo zřizováno zařízení staveniště a budovány konstrukce vzdálené od kolejí. Posléze byla vyloučena kolej

the top down construction system operations; this is only possible in the final stage of construction.

For the future tunnel on the I/20 road, the following parts have already been completed as part of the upgrading of the Plzeň railway junction:

- vertical load bearing walls of the tunnel;
- tunnel roof deck concreted on a treated track formation;
- external sheet waterproofing of the tunnel roof deck;
- stabilised track bed made of plain concrete, located in the transition area, this was preceded by the necessary temporary shoring of the construction pit (see above) with simultaneous pumping of water.

The **vertical load-bearing walls** of the tunnel are made as a monolithic reinforced concrete diaphragm walls

(Fig. 4). The outer ones 1200mm thick, the central one 1500mm thick. They are keyed 7.5m below the level of the lower edge of the inner slab of the tunnel. The depth and thickness of the walls were designed taking into account the excavation procedure under the protection of the tunnel roof deck and also the load exerted by the final operation of the road tunnel, also taking into account the buoyancy. The **roof deck** of the tunnel was designed as monolithic reinforced concrete structure (Fig. 5), frame-connected with the vertical walls. On the lower surface, the slab is reinforced at a length of 1000mm with 500mm high haunches when connecting the walls. On the upper surface, a saddle roof-like slope of 2% from the road axis is designed. In the longitudinal direction, it is divided into twelve expansion units, corresponding to two or three lamellae of the diaphragm walls. The **lower inner base slab** will be added



Obr. 7 Zařízení staveniště pro výrobu lamel
Fig. 7 Construction site facility for production of lamellas



Obr. 8 Stavební jáma

Fig. 8 Construction pit

č. 2 (obr. 7), rychlost provozu na koleji č. 1 byla omezena, byly přeloženy kolizní drážní sítě a na trakčním vedení bylo s ohledem na bezpečnost práce pod vysokým napětím zřízeno v rozsahu staveniště neutrální pole. Součástí této fáze byla realizace konstrukcí na sever (vpravo) od stávající koleje č. 1. Nejprve byla provedena těsná pažená stavební jáma (obr. 8). Šlo o pravou stranu staveniště, prostory mezi stávajícími kolejemi a rovněž na severním i jižním okraji území. Ve stavební jámě byly postupně provedeny vodící zídky a klasickým postupem zřízeny podzemní stěny (obr. 9).

Svislé spáry mezi lamelami podzemních stěn byly provedeny ve stop-end profilu, s těsnicími pásy ve spárách a trubičkou těsnicí injektáže. Spárové pásy musely být vytaženy do takové výšky nad horní hranu podzemních stěn, aby je bylo možné navázat v dilatačních spárách na pásy stropní desky, případně je zabetonovat do stropní desky u spár mezilehlých.

Podzemní stěny bylo třeba přebetonovat alespoň o 500 mm s tím, že následně byly ubourány na úroveň pracovní spáry stropní desky tunelu. Pro snazší odseparování výztuže od betonu byly použity plastové návleky.

Hloubení podzemních stěn bylo v zeminách prováděno lanovým drapákem a v podloží hydrofrézou. V některých místech bylo nutné překonat pažící pilotové stěny. Ty byly proto vyztužené pouze sklolaminátovou výztuží (GFRP). Toto řešení se velmi osvědčilo, bylo však třeba upravit zavádění hydrofrézy do pilotové stěny.

Jistou překážkou pro stavební práce bylo geologické prostředí. Při hloubení jedné z prvních lamel došlo při čištění jejího dna k uvolnění cca 65 m³ horniny ze stěny rýhy. Jednalo se o rozpadavé, silně podrcené břidlice v hloubce pod úrovní pracovní plošiny cca 4 až 10 m. Lamela byla bezodkladně vyčištěna, sanována zalitím betonem nízké pevnosti a přetěžena s dokončením po sanaci. Objem a poloha kaverny byly odvozeny z konsumpčních křivek sanační směsi. K obdobné poruše došlo ještě jedenkrát, navíc s uvíznutím frézovací hlavy. Potíže způsobilo, s nejvyšší pravděpodobností, porušení podložních břidlic v hloubce 4 až 10 m

to the frame structure during the construction of the road tunnel. The load-bearing walls and the roof deck are made of waterproof concrete. The roof deck is, in addition, protected from the reverse-side by waterproofing (Fig. 6) against pressurised water. This consists of a penetration-adhesive coating, modified asphalt waterproofing mats, a protective layer of non-woven geotextile and a 3mm thick separation PE membrane. In the corners, the waterproofing overlaps the working joint between the roof deck and vertical load-bearing walls [2].

5. CONSTRUCTION PROCESS HISTORY

Construction works started in November 2020. In the first phase of the works, they were carried out without traffic restrictions on



Obr. 9 Budování objízdné trasy

Fig. 9 Construction of by-pass route

the existing double-track line. Preparatory work was underway, construction site facility was set up and structures far from the railway yard were built. Later, track No. 2 was excluded (Fig. 7), the speed of traffic on track No. 1 was limited, the colliding track networks were relocated and, with regard to the safety of work under high voltage, a neutral field was established on the catenary line within the scope of the construction site. Part of this phase was the work on the structures to the north (right) of the existing track No. 1. First, a tight, braced construction pit was carried out (Fig. 8). It concerned the right side of the construction site, the spaces between the existing tracks and also on the northern and southern edges of the territory. Guide-walls were gradually constructed in the construction pit and diaphragm walls were carried out using the classic procedure (Fig. 9). The vertical joints between the lamellae of the diaphragm walls were made in a stop-end profile, with waterbars in the joints and a sealing grouting tube. The waterbars had to be pulled to such a height above the upper edge of the diaphragm walls that it was possible to connect them in the expansion joints to the waterbars in the roof



Obr. 10 Armování 1. dilatace a podklad pro 2. dilataci

Fig. 10 Placement of reinforcement of expansion joint 1 and base for expansion joint 2

s porušením stavu jejich napjatosti při hloubení. Řešením potíží bylo zkrácení záběrné délky lamel na minimum. To však současně vedlo k nepříjemnému zpomalení postupu výstavby a k navýšení počtu svislých spár zvyšujících tak riziko pronikání vody. Pracovníci firmy Zakládání staveb proto navrhli použití předstihového zpevnění břidlic klasickou injektáží cementovou suspenzí. Toto řešení bylo účinné a realizovatelné bez výrazného dopadu do harmonogramu realizace stavby. Technicky šlo o sanační injektáže horninového prostředí vysokotlakou injektáží vrtů, hlubokých 13 m, ve dvou řadách po obou stranách budoucích podzemních stěn, šachovitě v základním rozponu 1×1 m. Po zavedení (obou typů) opatření k dalším incidentům tohoto druhu na stavbě již nedošlo.

of the first lamellas, when cleaning its bottom, approx. 65m³ of ground released from the trench wall. It was a disintegrating, heavily fractured shale, approximately 4 to 10m below the level of the working platform. The lamella was immediately cleaned, stabilised with low-strength concrete to be re-excavated during post-stabilisation finishing work. The volume and position of the cavern were derived from the consumption curves of the stabilisation mixture. A similar failure occurred once more, in addition with the hydrofreise milling head getting stuck. The problem was caused, most likely, by the failure of the underlying shale at a depth of 4 to 10m with upsetting their state of stress during excavation. The solution to the problem lay in shortening the pulling length of the lamellas to a minimum. However, this simultaneously led to an unacceptable slowdown in the construction process and to an increase in the number of vertical joints, thus increasing the risk of water penetration. Therefore, the employees of the Zakládání Staveb company proposed the use of advance consolidation of shales by classic grouting with cement suspension. This solution was effective and feasible without significant impact on the construction schedule. Technically, it involved consolidation grouting into the rock environment by high-pressure injection of grout into boreholes (13 m deep, in two rows on both sides of the future diaphragm walls, in a staggered pattern in a basic span of 1×1m). After the introduction of (both types of) measures, no further incidents of this kind occurred on the construction site. Even below the water table level,



Obr. 11 Betonáž dilatačního dílu 1

Fig. 11 Concreting of expansion block 1

Pažící konstrukce ani pod úrovní HPV pohledově nevykazovala známky průsaků, přesto bylo nutné kontinuálně čerpat vodu vytékající ze dna stavební jámy, tedy z podloží. Vyčerpanou vodu, zjevně čistou, však nebylo možné, s ohledem na provozní předpisy provozovatele stokové sítě, vypouštět do přilehlé městské kanalizace. Tato obtíž byla překonána tak, že se voda odvádí (za průběžných kontrolních rozborů podle podmínek stanovených Povodím Vltavy) do přilehlé řeky Úslavy potrubím starého nevyužívaného výtláčného řadu, jehož šachty se nacházejí v prostoru staveniště. Stav a dostatečná těsnost řadu byly před použitím zkontrolovány kamerovými a tlakovými zkouškami.

Následoval zpětný zásep této části zárodku tunelu a přes dokončený úsek zastropení byla položena dočasná objížďka železnice, včetně trakce a ostatního příslušenství, napojená na koncích do nového stavu koleje č. 2. Také u trakčního vedení objížďné trasy bylo z hlediska bezpečnosti před účinky vysokého napětí zřízeno na dobu výstavby zárodku tunelu neutrální pole.

Po převedení železniční dopravy na objížďnou trasu mohla být vyloučena stávající kolej č. 1 a zahájena druhá fáze výstavby zárodku tunelu zahrnující realizaci zbývajících konstrukcí na jih (vlevo) od původní trati. Nejprve byla dokončena uzavřená stavební jáma a proběhlo hloubení na pracovní úroveň zpevněného dna. Poté byly odstraněny dále nepotřebné a kolizní úseky středové linie pažení (úsek mezi původními kolejemi). Z pracovní úrovně dna jámy byly, obdobně jak je rozvedeno výše pro první fázi stavby, provedeny vodící zídky, podzemní stěny a úseky stropní desky (obr. 10, 11) v rozsahu druhé fáze výstavby zárodku tunelu.

6. ZÁVĚR

V době tvorby článku jsou betonovány jednotlivé stropní desky závěrečné etapy realizace zárodku budoucího silničního tunelu. Termín dokončení je jaro roku 2023. Budou tak v časovém předstihu uskutečněny základní kroky pro realizaci budoucího tunelu na přeložce silnice I/20.

V kontextu současných podmínek přípravy a realizace významných, a to nejen dopravních a inženýrských staveb v ČR se jedná o případ ne zcela obvyklého, ale o to správnějšího přístupu dvou velkých státních investorů při koordinaci návrhu a realizace navzájem se ovlivňujících tras a objektů. A v neposlední řadě je vlastní realizace prezentovaného objektu dobrým příkladem kvalitní přípravy projektu a následně dobré spolupráce dodavatele, projektanta a investora při výstavbě.

*Ing. LUDĚK RAJS, ludek.rajs@metrostav.cz,
Ing. TOMÁŠ KOHOUT, tomas.kohout@metrostav.cz,
Ing. PETR SVOBODA, petr.svoboda@metrostav.cz,
Metrostav a.s.*

Recenzoval *Reviewed: Dr.-Ing. Zdeněk Žižka*

the bracing structure did not visually show signs of seepage, yet it was necessary to continuously pump water flowing from the bottom of the construction pit, i.e. from the subbase. However, it was not possible to discharge the drained water, which was apparently clean, into the adjacent municipal sewer system due to the operating regulations of the sewage network operator. This difficulty was overcome by diverting the water (subject to ongoing control analyses in accordance with the conditions set by the Vltava River Basin Administration) into the adjacent Úslava River through the forcemain of an old, unused discharge line, the shafts of which are located in the area of the construction site. The condition and sufficient tightness of the pipeline were checked by a camera and pressure tests before use. This was followed by the backfilling of this part of the tunnel stub, and a temporary railway bypass, including the catenary and other accessories, was laid over the completed section of the roof deck, which was connected at the ends to the new state of track No. 2. Also, a neutral field was established for the catenary line of the bypass route, from the point of view of safety against the effects of high voltage, for the duration of the construction of the tunnel stub. After the diversion of railway traffic to the bypass route, the existing track No. 1 could be excluded and the second phase of the construction of the tunnel stub could be started, including the work on the remaining structures to the south (left) of the original line. First, a closed construction pit was completed and excavation was carried out to the working level of the consolidated bottom. After that, further unnecessary and conflicting sections of the central line of the bracing (the section between the original tracks) were removed. From the working level of the bottom of the pit, similar to what is detailed above for the first phase of construction, guide walls, diaphragm walls and sections of the roof deck (Fig. 10, 11) were made in the scope of the second phase of the construction of the tunnel stub.

6. CONCLUSION

At the time of the creation of this paper, the individual roof deck slabs of the final stage of the future road tunnel stub are being concreted. The completion date is spring 2023. In this way, the basic steps for the work on the future tunnel on the I/20 road interchange will be carried out in advance. In the context of the current conditions for the preparation and execution of significant, and not only transport-related and engineering projects in the Czech Republic, this is a case of not quite usual, but the more correct approach of two large state owners of projects in coordinating the design and constructing of mutually influencing routes and objects. And last but not least, the actual construction of the presented object is a good example of quality project preparation and subsequently good cooperation between the contractor, designer and client during construction.

*Ing. LUDĚK RAJS, ludek.rajs@metrostav.cz,
Ing. TOMÁŠ KOHOUT, tomas.kohout@metrostav.cz,
Ing. PETR SVOBODA, petr.svoboda@metrostav.cz,
Metrostav a.s.*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] UHRIN, M. Příprava a realizace zárodku silničního tunelu v Plzni. *Beton*, 03/2022 (str. 83–89).
- [2] UHRIN, M. Uzel Plzeň, 5. stavba – Lobzy – Koterov. Technická zpráva ve stupni DSP, vydal Sudop Praha (77 stran), Praha, 06/2019

ZAJIŠTĚNÍ ÚSEKU E4 POD JEZEREM MÄLAREN VE STOCKHOLMU

STABILISATION OF THE E4 SECTION UNDER THE LAKE MÄLAREN IN STOCKHOLM

JAN FALTÝNEK

ABSTRAKT

FSE209 Bergtunnlar Skärholmen je název projektu, jenž realizuje od roku 2017 jako generální zhotovitel společnost SBT Sverige AB (dceřiná společnost společnosti Subterra a.s.). Je jedním z osmi úseků E4 Förbifart Stockholm – silničního obchvatu švédské metropole. Součástí FSE209 je i přibližně 240 m dlouhý úsek přímo pod jezerem Mälaren, který představoval jednu z nejproblematičtějších a nejrizikovějších částí výstavby celého obchvatu Stockholmu. Ražba v tomto úseku byla velice komplikovaná a náročná. Velkou výzvou bylo překonat velmi nekvalitní zvodnělé horninové prostředí a vypořádat se s nízkou výškou nadloží pode dnem jezera. Jako sekundární zajištění výrubu bylo přímo zadavatelem navrženo masivní, silně vyztužené monolitické železobetonové ostění s rozpětím klenby 15 m, jehož tloušťka dosahuje v některých místech až úctyhodných 4 m. To přineslo v průběhu realizace řadu komplikací, se kterými se bylo třeba vypořádat. O základních aspektech návrhu a realizace této specifické železobetonové konstrukce a dalších zajímavostech z výstavby tunelového ostění pojednává předložený článek. Ten tematicky navazuje na předchozí články o projektu FSE209, které jsou uvedeny v [1], [2] a především v [3], kde je detailně popisována ražba pod jezerem Mälaren.

ABSTRACT

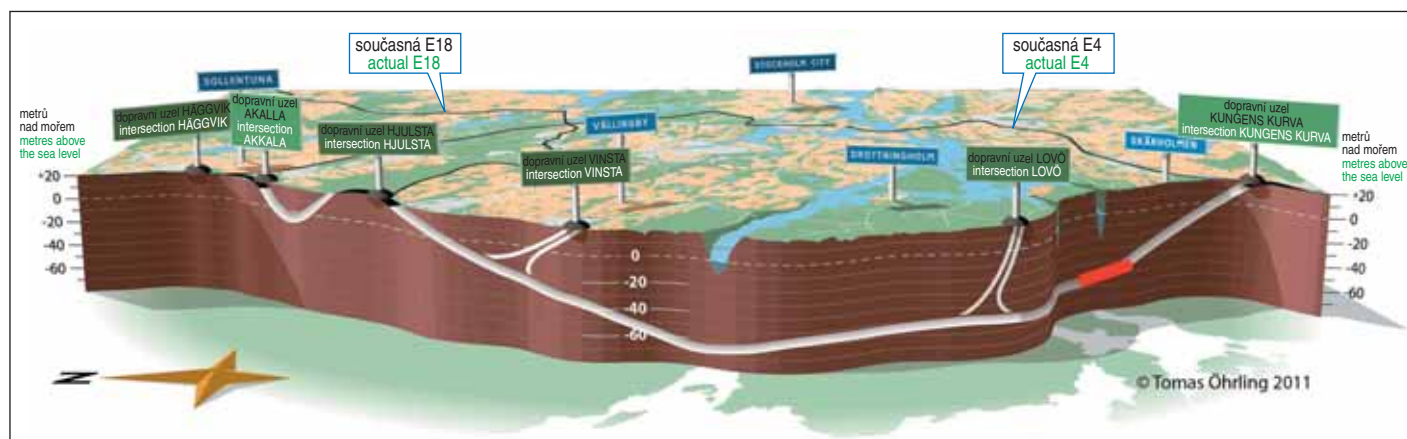
FSE209 Bergtunnlar Skärholmen is the name of the project that has been implemented since 2017 by SBT Sverige AB (subsidiary of Subterra a.s.) as the general contractor. It is one of the eight sections of the E4 Förbifart Stockholm – the road bypass of the Swedish capital. FSE209 also including an approximately 240m long section directly under Lake Mälaren, which represented one of the most problematic and risky parts of the construction of the entire Stockholm bypass. Tunnel excavation in this section was very complicated and demanding. The big challenge was to overcome the very poor quality water-bearing ground environment and to deal with the low height of the overburden below the lake bed. A massive, heavily reinforced monolithic concrete lining with a vault span of 15m, whose thickness reaches respectable 4m in some places, was proposed directly by the client as a secondary support of the excavation. This brought a number of complications that had to be dealt with during the construction. The presented article discusses the basic aspects of the design and construction of this specific reinforced concrete structure and other interesting aspects of the construction of the tunnel lining. Thematically, it is a follow-up to the previous papers on the FSE209 project, which are presented in [1], [2] and especially in [3], where the excavation under Lake Mälaren is described in detail.

OBCHVAT STOCKHOLMU

Ambiciózní projekt světového měřítka E4 Förbifart Stockholm tvoří západní propojení severní a jižní části švédské metropole (obr. 1). Ta je přirozeně rozdělena jezerem Mälaren a Baltským mořem na část pevninskou a izolované ostrovy. Důvodem výstavby obchvatu je především převedení tranzitní dopravy z centra města do jeho periferií a snížení zranitelnosti velice křehkého a přetíženého dopravního systému Stockholmu, který je závislý především na průchodnosti mostních objektů spojujících severní a jižní část

STOCKHOLM BYPASS

The ambitious world-scale project E4 Förbifart Stockholm forms the western connection between the northern and southern parts of the Swedish metropolis (Fig. 1). It is naturally divided by Lake Mälaren and the Baltic Sea into a mainland part and isolated islands. The reason for the construction of the bypass is primarily to transfer transit traffic from the city centre to its outskirts and to reduce the vulnerability of Stockholm's very fragile and congested transport system, which is primarily dependent on the passability



Obr. 1 Schematický řez stavby E4 Förbifart Stockholm

Fig. 1 Schematic cross-section through the E4 Förbifart Stockholm project

zdroj Trafikverket, 2022 source Trafikverket, 2022

metropole a řadu malých ostrovů. Nové spojení usnadní každodenní život obyvatelům města a vytvoří další příležitosti pro budoucí rozvoj silniční sítě. Pro minimalizaci negativního vlivu stavby na okolní prostředí je z celkové délky 21 km celých 18 km vedeno v podzemí. Celý obchvat je rozdělen na osm částí, jež zadavatel soutěžil samostatně. Úsek FSE209 Bergtunnlar Skärholmen nacházející se v jižní části Stockholmu realizuje od roku 2017 jako generální zhotovitel společnost SBT Sverige AB. Zadavatelem je státní organizace Trafikverket (švédská obdoba českého ŘSD ČR nebo slovenské NDS). Předpokládaným termínem dokončení celého obchvatu je rok 2035. Po zprovoznění všech částí se E4 Förbifart Stockholm stane jedním z nejdelších městských silničních tunelových komplexů na světě s intenzitou dopravy přibližně 140 tisíc automobilů denně [4]. Pro srovnání denní intenzita nejvytíženější české dálnice D1 u Prahy je přibližně 103 tisíc automobilů [6].

RAŽBY V ÚSEKU POD JEZEREM MÄLAREN A PRIMÁRNÍ ZAJIŠTĚNÍ VÝRUBU

Součástí úseku FSE209 Bergtunnlar Skärholmen s délkou obou tunelů hlavní trasy cca 4 km, čtveřicí nájezdových a výjezdových rampových tunelů délky 4 km a 1,5 km únikových cest je i přibližně 240 m dlouhý úsek pod jezerem Mälaren (na obr. 1 červeně vyznačený), který představoval nejproblematictější a nejrizikovější část z pohledu výstavby celého obchvatu Stockholmu. Důvodem byla především nízká výška nadloží tunelu pode dnem jezera, dosahující jen 25 m, a velmi nepříznivé geologické podmínky, ve kterých se daný úsek nachází. Ve zvětralých a rozpučených rulách byla totiž zastížena masivní zvodnělá poruchová zóna tvořená především rozrušeným grafitem a kataklazitem.

Před samotnou ražbou tunelů hlavní trasy probíhala řada průzkumných sond jak do dna jezera, tak z předstihových vrtů vrtaných z čelby. Na základě výsledků průzkumu bylo rozhodnuto o ražbě dvou bočních obchodních tunelů menšího profilu, které umožnily problémový úsek pod jezerem v předstihu obejít, důkladněji zmapovat, provést průzkumné práce v oblasti poruchových zón a současně pokračovat v následných ražbách dál ke konci úseku tak, aby nedošlo k významnému zpoždění celého projektu. Na základě detailních výsledků získaných z doplňujícího průzkumu bylo přistoupeno ke změně projektové dokumentace zajištění výrubu hlavních tunelů oproti původnímu plánu. Horninový masiv byl v prostoru hlavní trasy zabezpečen předstihovými těsnicemi injektážemi předpolí a kalota mikropilotovým deštníkem. V nejhorších úsecích byl výrub členěn jak vertikálně, tak horizontálně, čelba přitížena a zajištěna samozávrtnými kotvami. Primární ostění tvoří 200 mm silná vrstva vyztuženého stříkaného drátkobetonu, jež je navíc přikotvena radiálními kotvami. Více podrobností lze najít v [3], kde je detailně popsána jak ražba pod jezerem Mälaren, tak celková změna způsobu vyztužení výrubu.

SEKUNDÁRNÍ ZAJIŠTĚNÍ VÝRUBU POD JEZEREM MÄLAREN

V souvislosti se změnou způsobu ražeb a primárního zajištění horninového masivu došlo i ke změně sekundárního zajištění výrubu. Zadavatel se rozhodl pro návrh monolitického tunelového ostění, které je v severovýchodních zemích méně obvyklé. Realizace monolitického ostění se zpravidla uplatňuje pouze v příportálových úsecích, kde dochází k přechodu mezi raženým a hloubeným úsekem tunelu. Ve Skandinávii je běžné, pokud vzhledem ke kvalitě horninového masivu zůstane výrub po provedení primárního zajištění dál již nezabezpečený, provádět systém sekundárního ostění jako kombinaci prefabrikovaných stěnových panelů zavěšených na horninových svornících a stropu ze stříkaného betonu. Ten je aplikován na membránu, která je rovněž zavěšena na horninových svornících

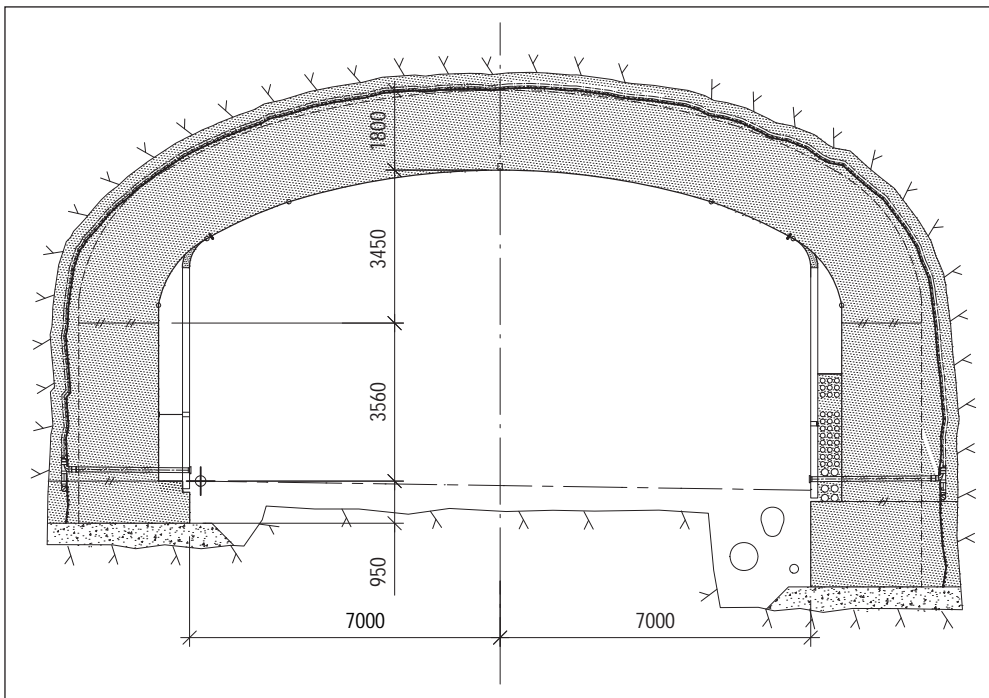
of bridge structures connecting the northern and southern parts of the metropolis and a number of small islands. The new connection will make everyday life easier for the city's residents and create additional opportunities for the future development of the road network. The entire bypass is divided into eight parts, which the contracting authority tendered separately. The FSE209 Bergtunnlar Skärholmen section located in the southern part of Stockholm has been implemented by SBT Sverige AB as the general contractor since 2017. The contracting authority is the state organisation Trafikverket (Swedish equivalent of the Czech ŘSD CR or Slovak NDS). The anticipated completion date for the entire bypass is 2035. When all parts are operational, the E4 Förbifart Stockholm will become one of the longest urban road tunnel complexes in the world with a traffic volume of approximately 140 thousand vehicles per day [4]. For comparison, the daily traffic volume on the busiest Czech highway D1 near Prague is approximately 103 thousand cars [6].

TUNNEL EXCAVATION IN THE SECTION UNDER LAKE MÄLAREN AND PRIMARY EXCAVATION SUPPORT

The part of the FSE209 Bergtunnlar Skärholmen section, with the length of both tunnels of the main route of approx. 4km, four entrance and exit ramp tunnels with the length of 4km and 1.5km of escape routes, is also an approximately 240m long section under Lake Mälaren (marked in red in Fig. 1), which represented the most problematic and risky part from the point of view of the construction of the entire bypass of Stockholm. The reason was primarily the low height of the overburden of the tunnel under the lake bed, reaching only 25m, and the very unfavourable geological conditions in which the given section is located. In the weathered and fractured gneiss, a massive water-bearing fault zone was found, consisting mainly of deteriorated graphite and cataclasite. Before driving tunnels of the main route itself, a number of exploration probe holes were carried out both into the bottom of the lake and from wells drilled ahead of the face. Based on the results of the survey, it was decided to excavate two lateral bypass tunnels of a smaller profile, which made it possible to bypass the problematic section under the lake in advance, to map it more thoroughly, to carry out survey work in the area of fault zones, and at the same time to continue subsequent excavations further towards the end of the section so that there was no significant delay of the entire project. Based on the detailed results obtained from the supplementary survey, the design documents of the support of the main tunnels were changed compared to the original plan. The rock massif was stabilised in the area of the main route with advance injections of grout into the advance core and the top heading with a canopy tube pre-support. In the worst sections, the excavation was divided both vertically and horizontally, the face was surcharged and secured with self-drilling anchors. The primary lining consists of a 200mm thick layer of sprayed reinforced concrete, which is additionally tied back with radial anchors. More details can be found in [3], where both the excavation under Lake Mälaren and the overall change in the method of the excavation support are described in detail.

SECONDARY EXCAVATION SUPPORT UNDER MÄLAREN LAKE

In connection with the change in the method of excavation and the primary support of the rock massif, there was also a change in the secondary support of the excavation. The client decided to use the design of a monolithic tunnel lining, which is less common in the Nordic countries. The construction of a monolithic lining is usually applied only in the near-portal sections, where there is a transition between the mined and cut-and-cover section of the tunnel. In



zdroj ÁF Infrastruktura, 2021 source ÁF Infrastruktura, 2021

Obr. 2 Příčný řez sekundárním tunelovým ostěním
Fig. 2 Cross-section through secondary tunnel lining

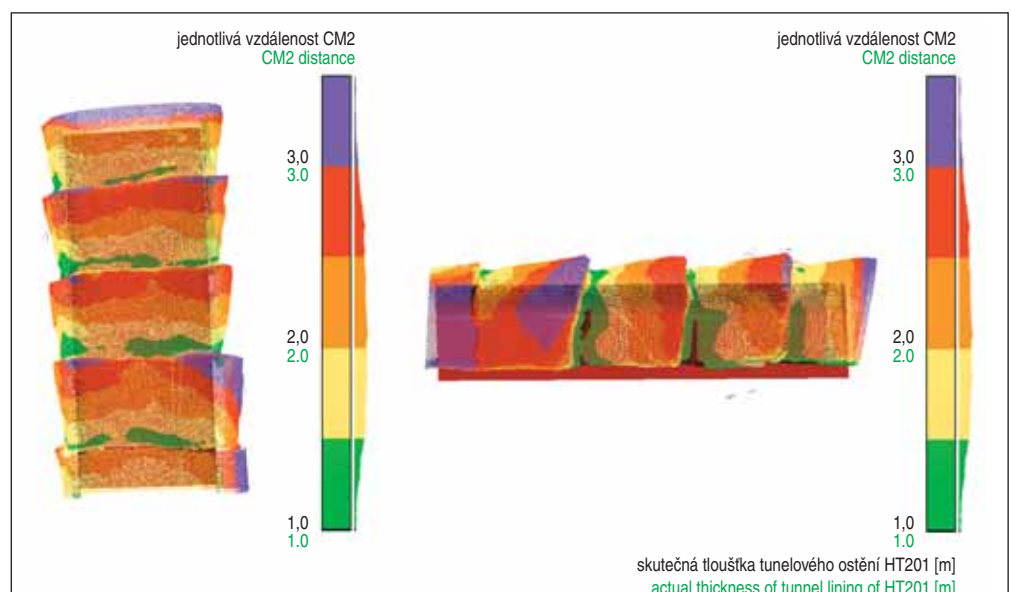
instalovaných přes vrstvu stříkaného betonu primárního ostění kaloty. Tento systém sekundárního ostění byl použit po celé délce tunelu Skärholmen, vyjma úseku pod jezerem Mälaren, kde bylo navrženo unikátní silně vyztužené monolitické ostění, jež patří k nejsložitějším prvkům celého projektu FSE209. Z tohoto důvodu byl jak návrh, tak samotná realizace pod pečlivým drobnohledem zadavatele i autorského dozoru.

V každé tunelové trubě (HT201, HT202) bylo vybetonováno celkem pět sekcí s proměnnou délkou bloku betonáže (maximálně 10 m) a rozpětím klenby 15 m. Celková délka kritického úseku s nepříznivým horninovým prostředím pod jezerem, kde bylo navrženo monolitické sekundární ostění, je 40 m v obou tunelových trubách. Každá sekce je v příčném řezu rozdělena pracovní spárou s průběžnou výztuží na základové pásy, dvě stěny a horní klenbu (obr. 2). Kvůli použití mikropilotového deštníku k zajištění stability výrubu při ražbách a nutnému zhotovení nik pro jeho vrtání je tloušťka ostění v podélném směru v rámci jednoho bloku betonáže variabilní a ostění dosahuje teoretické tloušťky 0,8 m až 1,8 m. Jeden blok betonáže má tak „trychtýřovitý tvar“. V některých místech je ale reálná tloušťka kvůli vysokým geologickým nadvýmům pod mikropilotovými deštníky větší a překračuje hranici 3,5 m (obr. 3). To kladlo při realizaci obrovské nároky nejen na únosnost bednicí formy klenby ostění, ale rovněž na dopravu a ukládku čerstvého betonu a na následné chlazení betonové směsi při její hydrataci.

Mezi primární ostění ze stříkaného betonu a monolitické sekundární ostění byla ukládána separační vrstva z nopové matrace potažené geotextilií. Za ní byly umístěny navíc drenážní

Scandinavia, if, due to the quality of the rock massif, the excavation remains unsecured after the primary protection has been carried out, it is common to implement a secondary lining system as a combination of prefabricated wall panels suspended on rock bolts and a shotcrete roof. Shotcrete is applied to the membrane, which is also suspended from rock bolts installed through the shotcrete layer of the primary lining of the top heading. This secondary lining system was used along the entire length of the Skärholmen tunnel, except for the section under Lake Mälaren, where a unique heavily reinforced monolithic lining was designed, which is one of the most complex elements of the entire FSE209 project. For this reason, both the design and the actual construction were under the careful scrutiny of the client and the author's supervision.

In each tunnel tube (HT201, HT202), a total of five sections were concreted with a variable length of the concrete casting block (maximum 10m) and the crown span of 15m. The total length of the critical section with unfavourable rock environment under the lake, where the monolithic secondary lining was designed, is 40m in both tunnel tubes. Each section is divided in cross-section by a working joint with continuous reinforcement into foundation strips, two walls and an upper vault (Fig. 2). Due to the use of a canopy tube pre-support to ensure the stability of the excavation during work and the necessary construction of niches for its drilling, the thickness of the lining in the longitudinal direction within one concrete casting block is variable, and the theoretical thickness of the lining reaches 0.8m to 1.8m. One concrete casting block thus has a „funnel shape“. In some places, however, the real thickness due to high geological overbreaks above the canopy tube umbrellas is greater and exceeds the limit of 3.5m (Fig. 3). During



Obr. 3 Vyhodnocení skutečné tloušťky sekundárního tunelového ostění HT201
Fig. 3 Assessment of actual thickness of secondary tunnel lining of HT201

trubice svádějící vodu z pláště ostění do hlavní tunelové drenáže. Návrhová životnost tunelového ostění jakožto i ostatních prvků a částí tunelu je projektovou dokumentací stanovena na 120 let. Všechny prvky trvale instalované v tunelu musí mít tuto trvanlivost garantovanou. Tento smluvní požadavek zadavatel důsledně kontroloval a vyžadoval.

RECEPTURA ČERSTVÉ BETONOVÉ SMĚSI

První výzvou, se kterou bylo nutno se před vlastní realizací ostění vypořádat, byl návrh čerstvé betonové směsi, která by byla vhodná k betonáži ostění těchto dimenzí v daných podmínkách. Kvůli nerovnoměrnému tvaru a velkým tloušťkám ostění a požadavku na co nejdokonalější vyplnění nadvýlomů nebylo technicky možné použít klasické hutněné betonové směsi pro betonáž klenby ostění. Příložné vibrátory umístěné na plášti formy bednění nemohou v tomto případě zajistit dokonalé ztuhnutí betonu. Proto bylo nutné přistoupit k návrhu samozhutnitelného betonu. Podle projektové dokumentace byla navíc předepsána poměrně vysoká pevnostní třída C35/45, odolnost betonu vůči působení mrazu s CHRL (stupeň vlivu prostředí XF4) a další technické specifikace. Povoleno bylo použití pouze čistých portlandských cementů CEM I. Dalším požadavkem se stala protipožární odolnost ostění s kritérii EI 60 a R 180. Ta vedla na základě požárních zkoušek betonu k nutnosti doplnit recepturu o polypropylénová mikrovlákna v dávkování 1 kg/m³. Kvůli častým dopravním komplikacím při transportu čerstvého betonu přes hlavní město byl přidáván navíc zpomalovač tuhnutí.

Ve spolupráci s dodavatelem betonu a po provedení velké řady testů a zkoušek k zjištění deklarovaných vlastností jak čerstvé betonové směsi, tak ztvrdlého betonu byla nakonec nalezena a následně zadavatelem schválena vhodná receptura betonu. Výsledkem byl samozhutnitelný, provzdušněný, vysokohodnotný vláknobeton.

BEDNĚNÍ SEKUNDÁRNÍHO TUNELOVÉHO OSTĚNÍ

Požadavkem zadavatele, souvisejícím s realizací železobetonových konstrukcí v rámci projektu FSE209, byl zákaz použití klasického rádlování nebo jiných prvků, které nabízejí tradiční dodavatelé v rámci svých typizovaných řad systémového bednění. Jedinou možnou alternativou, jak bednění sepnout a zachytit vodorovné síly, bylo využití sklolaminátových nebo nerezových táhel, která po odbednění zůstanou součástí vlastní monolitické konstrukce. Důvodem je obava zadavatele z možného porušení vodotěsnosti ostění a snížení trvanlivosti konstrukce v případě průsaků skrze ucpávky po rádlování.

Bednění základových pásů nebylo v ničem výjimečné. Na stěny bylo použito jednostranné bednění, jež bylo zajištěno sklolaminátovými táhly uchycenými přímo do horninového masivu. Na realizaci obou těchto konstrukčních částí bylo použito klasické systémové bednění.

Další výzvou, kterou bylo nutno intenzivně řešit před zahájením vlastní realizace, byl návrh formy bednění horní klenby tunelového ostění. Ze všech oslovených dodavatelů bednění předložil koncepční návrh pouze jeden. Ostatní popotávku odmítli kvůli obavám o bezpečnou únosnost bednicího vozu v průběhu betonáže. Důvodem byla bezesporu kombinace navržené receptury samozhutnitelného betonu a vysokých nadvýlomů vedoucích k abnormálnímu tlaku čerstvé betonové směsi. Světla výška mezi vrcholem a patou klenby ostění dosahovala v některých místech až 8 m. Tento tlak by v případě hydrostatického působení betonu nebyla žádná bednicí forma schopna přenést. Proto bylo v návrhu uvažováno s postupným náběhem pevnosti čerstvého betonu a následnou redukcí horizontální složky zatížení na formu bednění. Ve spolupráci s dodavatelem betonu a dodavatelem bednění byl na staveništi uspořádán test při

construction, this placed huge demands not only on the load-bearing capacity of the formwork of the lining vault, but also on the transport and placement of fresh concrete and on the subsequent cooling of the concrete mixture during its hydration.

Between the primary lining made of sprayed concrete and the monolithic secondary lining, a separation layer made of a dimpled sheet mattress covered with geotextile was placed. In addition, drainage tubes were placed behind it, directing water from the cladding to the main tunnel drainage. The design life of the tunnel lining as well as other elements and parts of the tunnel is set at 120 years by the design documents. All elements permanently installed in the tunnel have to have this durability guaranteed. This contractual requirement was consistently checked and required by the contracting authority.

FRESH CONCRETE MIX RECIPE

The first challenge that had to be dealt with before the lining construction itself was the design of a fresh concrete mix that would be suitable for concreting the lining of these dimensions in the given conditions. Due to the uneven shape and large thicknesses of the lining and the requirement to fill the overbreaks as perfectly as possible, it was technically impossible to use classic compacting of concrete mixes for the concreting of the lining vault. External vibrators placed on the shell of the formwork cannot ensure perfect compaction of the concrete in this case. Therefore, it was necessary to proceed to the design of self-compacting concrete. According to the design documents, a relatively high strength class C35/45, frost resistance of concrete with CHRL (exposure degree XF4) and other technical specifications were also prescribed. Only CEM I pure Portland cements were allowed to be used. Another requirement was the fire resistance of the cladding with the EI 60 and R 180 criteria. Based on concrete fire tests, this led to the need to supplement the recipe with polypropylene microfibres in a dosage of 1kg/m³. Due to frequent traffic complications when transporting fresh concrete through the capital, a setting retarder was added.

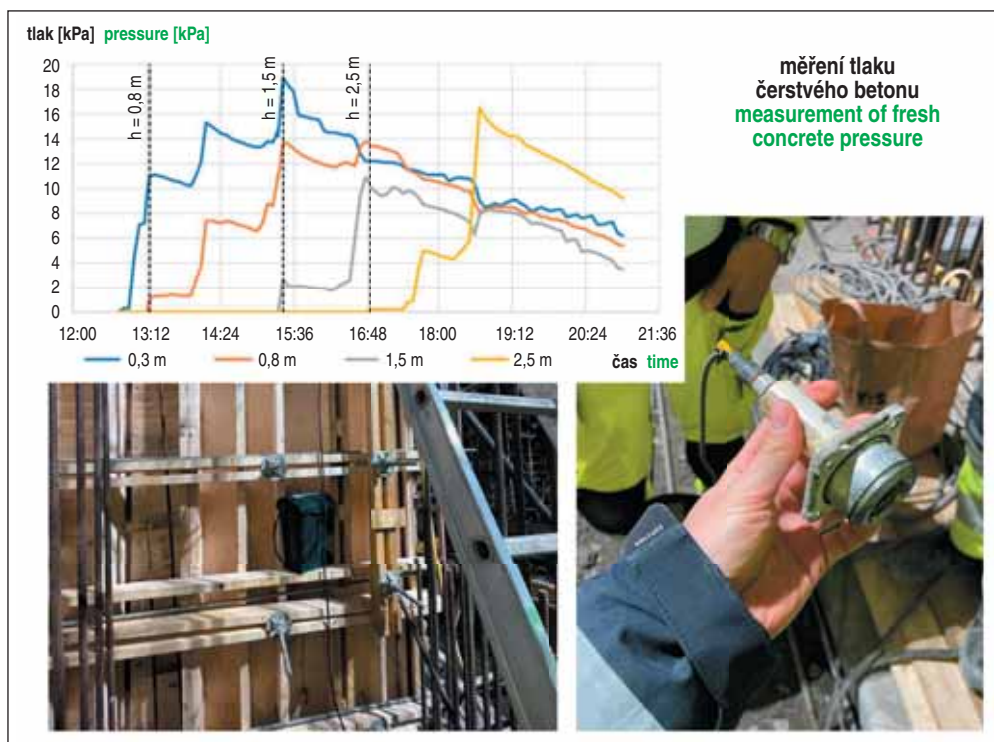
In cooperation with the concrete supplier and after carrying out a large number of tests and trials to determine the declared properties of both the fresh concrete mixture and the hardened concrete, a suitable concrete formula was finally found and subsequently approved by the client. The result was a self-compacting, aerated, high-quality fibre reinforced concrete.

FORMWORK OF THE SECONDARY TUNNEL LINING

The request of the client, related to the construction of reinforced concrete structures within the FSE209 project, was the ban on the use of classic formwork tying or other elements offered by traditional suppliers within their typical series of formwork systems. The only possible alternative to tying the formwork and capturing the horizontal forces was the use of fibreglass or stainless steel tie rods, which remain part of the monolithic structure itself after the formwork is removed. The reason is the client's fear of a possible breach of the waterproofing of the lining and a reduction in the durability of the structure in the event of leaks through the seals after formwork tying.

The formwork of the footings was nothing special. One-sided formwork was used for the walls. It was stabilised by fibreglass ties attached directly to the rock massif. Classic formwork system was used for the execution of both of these structural parts.

Another challenge that had to be intensely addressed before starting the actual construction was the design of the formwork for the upper vault of the tunnel lining. Of all the formwork suppliers



Obr. 4 Měření tlaku čerstvého samozhutitelného betonu (nahore výsledek měření, vlevo datalogger umístěný na bedněni, vpravo detail snímače)

Fig. 4 Measurement of pressure exerted by self-compacting concrete (top – measurement result, left – datalogger installed on formwork, right – transducer detail)

betonáži tunelových stěn, jehož cílem bylo stanovit skutečné vodorovné tlaky, které navržená čerstvá betonová směs na bednění vyvíjí. Ve třech výškových úrovních byly do bednění vloženy tlakoměrné snímače a postupně byl v průběhu betonáže zaznamenáván tlak na bednění (obr. 4). Výsledky měření byly pro návrh bednění klenby velice příznivé, změřené hodnoty neodpovídaly teoretickým hodnotám, byly podstatně nižší. Z tohoto důvodu bylo provedeno ještě opětovné měření, aby se, pokud možno, vyloučily některé případné chyby měření. I výsledky druhého měření potvrdily stejný trend. Pro ověření všech naměřených dat bylo provedeno ještě klasické měření tlaků bednění spočívající ve sledování síly v jednotlivých táhlech a přepočtení této síly na tlak na bednění. I toto měření ale prokázalo, že reálný tlak čerstvé betonové směsi na bednění je nižší než teoretický. Po zohlednění všech výsledků měření a zavedení patřičných bezpečnostních koeficientů byla bednicí forma horní klenby ostění



Obr. 5 Bednicí forma klenby ostění
Fig. 5 Formwork for vault of lining

contacted, only one submitted a conceptual proposal. The others rejected the request due to concerns about the safe load-bearing capacity of the tunnel form traveller during concreting. Undoubtedly, the reason was the combination of the proposed self-compacting concrete recipe and high overbreaks leading to abnormal pressure of the fresh concrete mixture. The clearance height between the top and the bottom of the lining vault reached up to 8m in some places. No formwork would be able to withstand this pressure in the case of hydrostatic concrete action. Therefore, the proposal considered a gradual increase in the strength of fresh concrete and a subsequent reduction of the horizontal component of the load on the formwork. In cooperation with the concrete supplier and the formwork supplier, a test was organised on the construction site during the concreting of the tunnel walls, the aim of which was to determine the actual horizontal pressures that the

designed fresh concrete mixture exerts on the formwork. Pressure sensors were inserted into the formwork at three height levels and the pressure on the formwork was gradually recorded during concreting (Fig. 4). The measurement results were very favourable for the design of the vault formwork, the measured values did not correspond to the theoretical values; they were significantly lower. For this reason, a re-measurement was carried out in order to exclude, if possible, some possible measurement errors. The results of the second measurement also confirmed the same trend. In order to verify all the measured data, a classic measurement of pressure on formwork consisting of monitoring the force in individual tie rods and converting this force into pressure on formwork was performed. Even this measurement proved that the real pressure of the fresh concrete mixture on the formwork is lower than the theoretical one. After taking into account all measurement results and introducing appropriate safety coefficients, the formwork of the upper vault of the lining was successfully designed and gradually assembled after several weeks underground (Fig. 5). The total weight of the formwork of the lining vault exceeded 90 tonnes. After the formwork of the concrete block was removed, the form was always split in half at the top of the vault and moved in halves along the rails from one block to the other, where it was then set up in the correct geometric position and connected. In order to save time, after all the concreting of the first tunnel tube was completed, the entire formwork of the vault was subsequently moved in halves through the tunnel cross passage. A special six-axle self-propelled carriage was used for this operation, enabling the transport of excessive loads.

Due to the very high vertical load exerted by the formwork of the vault during concreting, a static load test of the compacted gravel layers under the rails was carried out. Based on the results of measurements and load calculations, for safety reasons and in order to ensure favourable load distribution and to minimise uneven subsidence of the formwork during concreting, massive spreading steel sheets placed under the individual rails were used.

úspěšně navržena a po několika týdnech v podzemí postupně sestavena (obr. 5). Celková hmotnost formy bednění klenby ostění přesahovala 90 tun. Po odbednění daného bloku betonáže byla forma vždy rozpůlena ve vrcholu klenby a po polovinách po kolejnicích přesunuta z jednoho bloku na druhý, kde byla následně ustavena do správné geometrické polohy a spojena. Z důvodu úspory času po dokončení všech betonáží první tunelové trouby byla následně celá bednicí klenba po polovinách přesunuta přes tunelovou propojku. K této operaci byl využit speciální šestinápravový samohybný podvozek umožňující transport nadměrných nákladů.

Z důvodu velmi vysokého vertikálního zatížení od bednění klenby v průběhu betonáže bylo přistoupeno k provedení statické zatěžovací zkoušky hutněných štrkových vrstev pod kolejnicemi. Na základě výsledků měření a přepočtu zatížení došlo z bezpečnostních důvodů a kvůli zajištění příznivého roznosu zatížení a minimalizaci nerovnoměrných poklesů formy bednění v průběhu betonáže k použití masivních roznášecích ocelových plechů umístěných pod jednotlivými kolejnicemi.

Uzavření čílek nebylo možné zajistit kompletně systémovým bedněním. Kvůli vyvedení těsnicích profilů a nepravidelnému tvaru výrubu zde bylo nutné použít řezivo. V některých případech tak bylo zhotoveno až 3,5 m široké nebo vysoké dřevěné bednění proměnných dimenzí. Všechna čílka byla proti vodorovným tlakům zajištěna zabetonovanými ocelovými táhly, jež vedla po celé délce bloku betonáže. Před uzavřením formy bednění byly do nejvyšších míst v klenbě výrubu umístěny dvojice tzv. „špionů“, pomocí kterých bylo možno kontrolovat, zda došlo ke správnému vyplnění všech dutin čerstvým betonem a zároveň sloužily k odvodu vzdušného prostoru za formou. Tyto kontrolní trubice byly vyvedeny přes čílku bednění k armovacímu vozíku, ze kterého probíhala vlastní betonáž.

Pro plnění formy čerstvým betonem bylo na plášti bednicího vozu umístěno celkem osmáct plnicích otvorů osazených tzv. „gilotinami“, ke kterým bylo možno připojit hadice betonové pumpy. Ve třech příčných profilech bylo umístěno symetricky na každé straně bednění klenby ve třech výškových úrovních celkem šest gilotin. Rozmístění jednotlivých plnicích míst bylo sladěno s délkou nejmenšího bloku betonáže a celkovým postupem výstavby. Plnění formy bednění nad úroveň vrcholu bednicího vozu bylo zajištěno prostřednictvím několika gilotin osazených přímo v čílku bednění. Aby došlo k co nejlepšímu vyplnění bednicí formy, bylo vždy alespoň jedno plnicí místo vedoucí z čílka prodlouženo prostřednictvím zabetonovaného ocelového potrubí dále k již vybetonovanému bloku ostění. Tím bylo zajištěno, že bude i ve vyšších partiích v podélném směru plnění rovnoměrné a nedojde tak k lokálnímu přetěžování formy nebo ke vzniku nežádoucích kaveren.

VÝZTUŽ SEKUNDÁRNÍHO TUNELOVÉHO OSTĚNÍ

Klenba ostění je v příčném řezu geometricky tvořena třemi oblouky rozdílných poloměrů. V kombinaci s trychtýřovým tvarem každého bloku betonáže v podélném směru to mělo za následek, že každý vnější prut armokoše ostění měl jinou délku a jiný tvar a musel být vyroben individuálně na míru. Na začátku realizace byla snaha produkovat výztuž ve specializované armovně. Po několika prvních dodávkách a výměně subdodavatele se však ukázalo, že bude výhodnější, když bude výztuž vyráběna přímo na stavbě. Důvodem byla neschopnost dodavatelů vyrobit a dopravit na staveniště výztuž v potřebné kvalitě a především tvaru. Celý armokoš ostění byl zavěšen na kotvách vrtaných přes primární ostění a separační vrstvu do horninového masivu. Průměrné vyztužení sekundárního tunelového ostění dosahovalo 160 kg na m³ betonu. Jako hlavní nosná výztuž byly použity primárně pruty průměru 25 mm (obr. 6), v některých

It was not possible to completely close the ends with system formwork. Because of the sealing profiles and the irregular shape of the excavation, it was necessary to use timber here. In some cases, up to 3.5m wide or high timber formwork of variable dimensions was made. All the stop ends were secured against horizontal pressure by steel tie rods that ran in the concrete along the entire length of the concreting block. Before closing the formwork, a pair of so-called „spies“ were placed in the highest places in the vault of the excavation, with the help of which it was possible to check whether all the cavities had been correctly filled with fresh concrete and at the same time they served to de-aerate the space behind the form. These checking tubes were brought out through the stop end of the formwork to the reinforcement installation traveller, from which the actual concreting took place.

To fill the form with fresh concrete, a total of eighteen filling holes fitted with so-called „guillotines“ were installed on the shell of the tunnel formwork traveller, through which the hoses of the concrete pump could be connected. In three transverse profiles, a total of six guillotines were placed symmetrically on each side of the vault formwork at three height levels. The filling of the formwork above the level of the top of the formwork traveller was secured by means of several guillotines installed directly in the formwork stop end. In order to achieve the best possible filling of the formwork, at least one filling point leading from the stop end was always extended by means of a steel pipe filled with concrete, further to the already concreted lining block. This ensured that even in the higher parts in the longitudinal direction, the filling would be uniform and that there would be no local overloading of the formwork or the formation of unwanted cavities.

REINFORCEMENT OF THE SECONDARY TUNNEL LINING

In cross-section, the lining vault is geometrically formed by three arches with different radii. Combined with the funnel shape of each concreting block in the longitudinal direction, this meant that the length and shape of each external rebar of the lining reinforcement cage was different and had to be individually made to measure. At the beginning of the work, there was an effort to produce reinforcement in a specialised rebar processing shop. However, after the first few deliveries and a change of subcontractor, it became clear that it would be more advantageous when the reinforcement was processed directly on site. The reason was the inability of the suppliers to produce and deliver reinforcement to the construction site in the required quality and, above all, shape. The entire reinforcement cage of the lining was suspended on anchors drilled through the primary lining and the separation layer into the rock massif. The average quantity of reinforcement of the secondary tunnel lining reached 160kg per m³ of concrete. Rebars 25mm in diameter, in some places of the cross-section placed in up to three layers, were primarily used as the principal reinforcement (Fig. 6). In all places where the actual shape of the lining differed from the theoretical one by more than 0.3m, it was necessary to add reinforcement to the overbreak. The actual assembly of the reinforcement was carried out from the reinforcement installation traveller.

To ensure the waterproofing of the lining, a rubber waterbar was inserted into each transverse joint between the individual blocks of concreting. The working joints between the strip footings, the walls and the lining vault were treated by inserting a bentonite sealing gasket. The entire reinforcement cage of the lining was tied up and outlets were installed on the surface of the lining to measure the electrochemical potential and monitor the risk of corrosion of the concrete reinforcement. The stress in the secondary lining was

místech průřezu umístěné až ve třech vrstvách. Ve všech místech, kde se skutečný tvar ostění lišil od teoretického více než o 0,3 m, bylo nutné nadvýlom dovyztužit. Samotná montáž výztuže probíhala z armovacího vozíku.

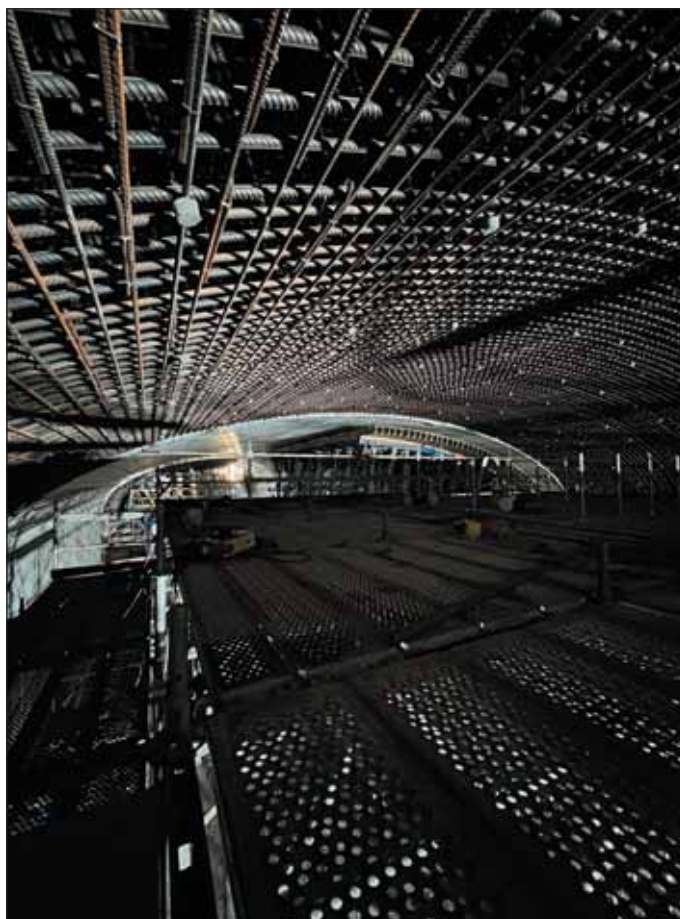
K zajištění vodonepropustnosti ostění byl do každého příčného spoje mezi jednotlivé bloky betonáže vložen gumový těsnicí pás. Pracovní spáry mezi základovými pásy, stěnami a klenbou ostění byly ošetřeny vložením bentonitového těsnicího pásu. Celý armokoš ostění byl provázán a na povrch ostění byly instalovány vývody pro měření elektrochemického potenciálu a sledování rizika koroze betonářské výztuže. Napětí v sekundárním ostění bylo na každém bloku betonáže monitorováno v několika měřičských profilech strunovými tenzometry. Vzhledem k nepravidelnému tvaru ostění a jeho dimenzím vznesl zhotovitel na zadavatele dotaz, zda trvá na umístění tenzometrů do teoretické polohy s odpovědí, že má být sledován původní návrh beze změn.

CHLAZENÍ BETONOVÉHO OSTĚNÍ

Jak již bylo zmíněno v předchozí části příspěvku, tloušťka tunelového ostění přesahovala v některých místech navržené hodnoty tloušťky sekundárního ostění. Z pohledu technických norem a předpisů se jedná o masivní monolitickou konstrukci i v případě, že by byly dodrženy všechny teoretické rozměry ostění. Pro zajištění správné hydratace betonu, nepřekročení limitních hodnot teploty v jádru průřezu a udržení teplotního gradientu mezi jádrem průřezu a povrchem v bezpečných mezích je možné zvolit více přístupů. Ve Skandinávii k této problematice přistupují nejčastěji chlazením vlastní betonové konstrukce v průběhu hydratace betonu. V praxi se používají dva základní systémy. První, sofistikovanější, využívající uzavřený systém cirkulace chladicího média a druhý, kdy chlazení konstrukce zajišťuje běžná užitková voda, která je rozvedena po délce tunelu. U uzavřeného systému, kdy nelze použít k chlazení užitkovou vodu, je třeba zajistit nákladný výměník tepla a technologii k vlastnímu řízení procesu chlazení. V případě tunelového ostění pod jezerem Mälaren byl využit systém chlazení užitkovou vodou.

Na základě zvolené receptury čerstvé betonové směsi (především obsahu a typu cementu), průměrných denních teplot v daném měsíci, teploty čerstvého betonu a teploty chladicího média byl projektantem navržen systém chladicího potrubí. Podmínkou pro regulaci přítoku a tlaku v potrubí byl rozdíl mezi teplotou chladicí kapaliny na vstupu a na výstupu. Projektantem byla předepsána rovněž minimální doba, po jakou se musí ostění chladit. Současně se sledováním všech relevantních údajů na chladicím potrubí probíhalo také měření teploty vzduchu a zaznamenávání teplotního profilu po tloušťce ostění v několika profilech. Na každé klenbě bylo podle projektové dokumentace osazeno celkem 28 měřících bodů (obr. 7).

Jednotlivé chladicí okruhy, jejichž délka z praktických důvodů neměla přesahovat 100 m, byly přes dřevěné čílko vyvedeny vně formy bednění, pečlivě označeny a napojeny na zhotovený distributor chladicího média, který umožňoval zapínat a vypínat každý okruh zvlášť a rovněž regulovat tlak a přítok (obr. 8). Před uzavřením bednění a vlastní betonáží bylo doporučeno provést důkladnou tlakovou zkoušku celého chladicího systému. Voda ohřátá v průběhu tuhnutí a tvrdnutí betonu byla shromažďována v kádi, odkud byla následně přečerpávána do tunelové drenáže. Samotné chladicí potrubí bývá nejčastěji zhotoveno z tenkostěnných ocelových trubek připevněných v předepsaných roztečích přes gumovou separaci na armokoš. Celý systém chlazení je po odbednění zainjektován. Společně s chlazením ostění bylo nutné chladit i prostor všech nadvýlomů přidávanými chladicími okruhy.

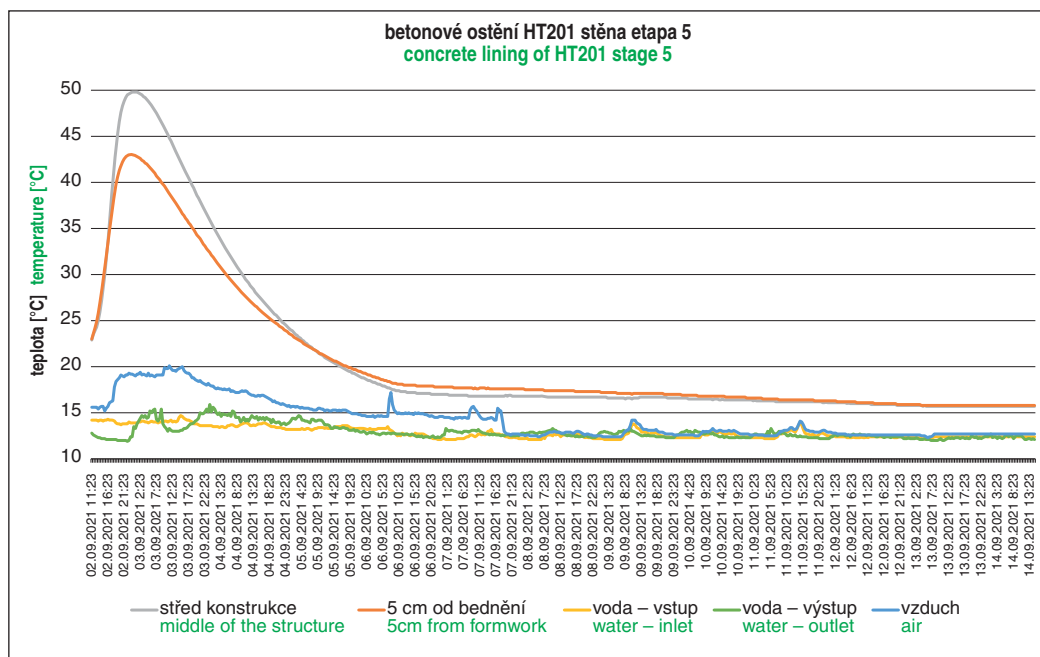


Obr. 6 Armokoš výztuže před posunem formy bednění
Fig. 6 Reinforcement cage before shifting of formwork

monitored on each block of concreting in several measuring profiles by vibrating wire strain gauges. Due to the irregular shape of the lining and its dimensions, the contractor asked the client whether he insisted on placing the strain gauges in the theoretical position, with the answer that the original design should be followed without changes.

COOLING OF CONCRETE LINING

As already mentioned in the previous part of the paper, the thickness of the tunnel lining exceeded the designed thickness of the secondary lining in some places. From the point of view of technical standards and regulations, this is a massive monolithic structure even if all the theoretical dimensions of the lining are observed. Several approaches can be chosen to ensure proper hydration of the concrete, not to exceed the limit values of temperature in the core of the cross-section, and to maintain the temperature gradient between the core of the cross-section and the surface within safe limits. In Scandinavia, they most frequently approach this issue by cooling the concrete structure itself during concrete hydration. Two basic systems are used in practice. The first one, more sophisticated, uses a closed cooling medium circulation system, and the other one, is used when the cooling of the structure is provided by ordinary utility water, which is distributed along the length of the tunnel. In the case of a closed system, when utility water cannot be used for cooling, an expensive heat exchanger and technology for self-control of the cooling process must be provided. In the case of the tunnel lining under Lake Mälaren, a utility water cooling system was used. Based on the chosen recipe of the fresh concrete mixture (primarily the content and type of cement), the average daily temperatures in the given month, the temperature of the fresh concrete and the temperature of the cooling



Obr. 7 Příklad výstupu z teplotního měření východní stěny 5. sekce tunelu HT201

Fig. 7 Example of temperature measurement of eastern wall of section No. 5 of HT201 tunnel

Důkladným chlazením realizované masivní betonové konstrukce, regulací přítoku a tlaku v chladicím potrubí a sledováním všech zaznamenaných teplot bylo dosaženo bezchybného výsledku a v obou tunelových troubách nebyly při inspekcích zaznamenány žádné teplotní trhliny.

BETONÁŽ, ODBEDŇOVÁNÍ A OŠETŘOVÁNÍ SEKUNDÁRNÍHO OŠTĚNÍ

Testování čerstvého betonu probíhá podle švédských technických předpisů pouze u betonu z prvních tří domíchávačů, při změně betonárny nebo jednou za 8 hodin při výměně obsluhy betonárny, pokud trvá betonáž déle. Více zkoušek čerstvého betonu zadavatel nevyžaduje. Pro vlastní potřebu a pro kontrolu betonárny bylo zakoupeno základní vybavení a každá dodávka betonu na stavbu byla testována. Několikrát se stalo, že byl vrácen domíchávač uprostřed betonáže z důvodu nevyhovujícího provzdušnění betonu nebo špatné konzistence. Za předepsaných podmínek testování by tyto negativní odchylky nebyly odhaleny. V případě kontroly ztvrdlého betonu platí ve Švédsku obdobná pravidla jako v Česku a Slovensku.

Betonáž základových pásů probíhala klasickým způsobem zhutněného betonu. Na betonáž první dvojice stěn byl použit nejprve samozhutnitelný beton stejné receptury jako pro klenbu oštěn. Důvodem byl požadavek co nejpřívetivějšího pracovního prostředí v tunelu a omezení negativního vlivu vibrací nutných ke zhutnění klasického betonu na lidský organismus. Ukázalo se ale, že je v takovém případě velice obtížné dosáhnout požadované kvality pohledové strany stěny po odbednění. Příčinou byla nemožnost zajistit souvislou betonáž stěn bez jakéhokoli přerušení především kvůli problémům s transportem čerstvého betonu přes centrum města v ranních a odpoledních hodinách. Pokud se betonáž zastavila pouze na několik minut, vznikl na povrchu viditelný znak přerušení, který nelze v případě samozhutnitelného betonu efektivně ovlivnit, na rozdíl od hutněného betonu, kdy je možné patřičné napojení čerstvého betonu zajistit důkladným provibrováním jednotlivých vrstev. Vyzkoušeno bylo více opatření, zvýšení konzistence čerstvého betonu na SF2, úprava receptury, výtlačná betonáž přes plnicí otvory pomocí gilotin. Žádné z těchto opatření ale nevedlo k uspokojivým výsledkům, proto došlo po domluvě se zadavatelem pro betonáž stěn tunelového

medium, the designer designed a cooling pipeline system. The condition for regulating the flow and pressure in the pipeline was a difference between the temperature of the coolant at the inlet and outlet. The designer also prescribed a minimum time for which the lining must be cooled. Simultaneously with the monitoring of all relevant data on the cooling pipe, the air temperature was also measured and the temperature profile was recorded throughout the wall thickness in several profiles. According to the design, a total of 28 measuring points were installed on each vault (Fig. 7). The individual cooling circuits, the length of which for practical reasons should not exceed 100m, were led outside the formwork

through a timber stop end, carefully marked and connected to a manufactured distributor of the cooling medium, which made it possible to turn each circuit on and off separately and also to regulate the pressure and inflow rate (Fig. 8). It was recommended to carry out a thorough pressure test of the entire cooling system before closing the formwork and concreting. The water heated during the setting and hardening of the concrete was collected in a tub, from where it was subsequently pumped into the tunnel drainage. The cooling pipeline itself is most frequently made of thin-walled steel pipes attached at prescribed intervals through a rubber separation to the reinforcement. The entire cooling



Obr. 8 Systém chlazení stěny tunelového oštěn

Fig. 8 Tunnel lining wall cooling system

ostění k použití klasického hutněného betonu konzistence S4. Po této změně již k žádným podstatným problémům s povrchem betonu nedocházelo.

V případě betonáže klenby ostění nebylo možné použít klasický beton, protože ho nelze bez možnosti přístupu do formy bednění patřičně ztuhnit a vyplnit prostor všech nadvylomů. Nezbyvalo než se pokusit sladit betonáž klenby ostění s dodávkami čerstvé betonové směsi tak, aby bylo zajištěno co možná nejplynulejší plnění formy. Zhotovitel navrhl dodavateli betonu betonáž přes noc, která by měla několik benefitů, z nichž nejpodstatnější bylo snížení teploty čerstvého betonu, možnost využití plné kapacity betonárny jen pro danou betonáž a především plynulejší dodávky čerstvého betonu díky snížení rizika plynoucího z transportu betonu přes hlavní město. Noční betonáž se však nepodařilo s dodavatelem betonu dohodnout. Příčinou byla nevěle zaměstnanců betonárny a dopravce betonu pracovat v noci ani za předpokladu úhrady všech patřičných příplatků zhotovitelem.

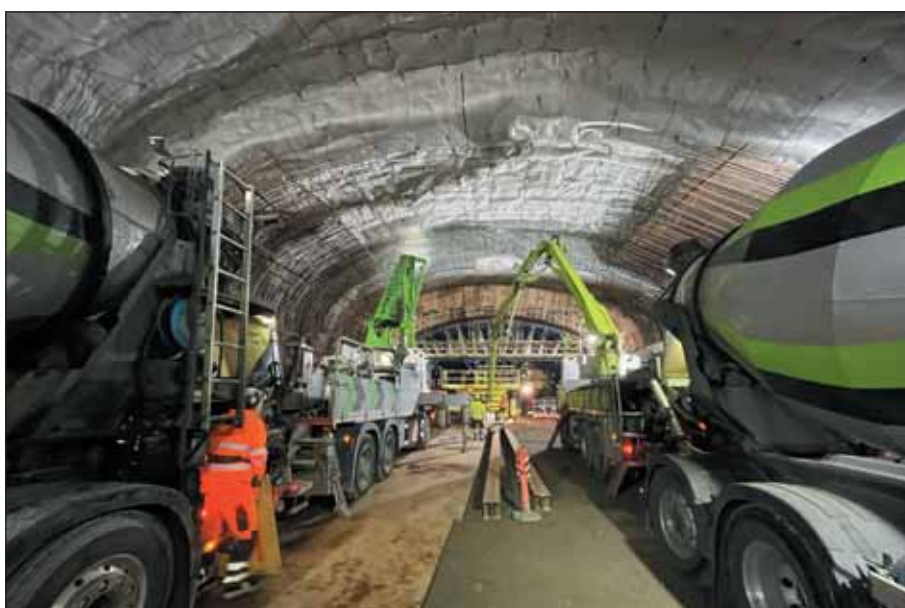
Největší kubatura betonáže klenby ostění o objemu cca 480 m³ byla zahájena v půl šesté ráno a trvala nepřetržitě bezmála 18 hodin. K přepravě betonu byly využity v co nejvyšší míře velkokapacitní domíchávače o objemu 10 m³. Pro dopravu čerstvého betonu a zabezpečení rovnoměrného plnění formy bednění byly použity současně dvě betonové pumpy (obr. 9). Aby bylo zajištěno také rovnoměrné plnění v podélném směru bloku betonáže, byly vytvořeny z betonářských hadic větve, které spojovaly plnicí otvory vždy v jedné výškové úrovni. Každá pumpa tak v jeden okamžik plnila alespoň dva plnicí otvory. Před zahájením vlastní betonáže došlo k tzv. promazání jednotlivých větví pomocí cementové suspenze, aby nedošlo k ucpání potrubí při zahájení. Po napojení hadic na jednotlivé gilotiny pokračovala betonáž vždy do výšky cca jeden metr nad úroveň daného plnicího místa. Následně došlo k přepojení větve na vyšší úroveň s pokračováním až k vrcholu bednění klenby ostění. Posléze byla jedna pumpa přepojena ke spodní gilotině v čílku a druhá pumpa ke gilotině, která plnila zadní část formy bednění. V průběhu betonáže byla otvory skrz čílko vizuálně kontrolována úroveň čerstvého betonu ve formě. S postupem betonáže byly rovněž zapínány jednotlivé chladicí okruhy, sledovány teploty na příslušných snímačích, tlak a průtok chladicího média. Po uzavření horního sledovacího okna došlo ke zpomalení betonáže až do chvíle, než začal vytékat beton ze špiónážních hadic. Poté byla přerušena betonáž na několik minut,

system is filled with grout after striking the formwork. Together with the cooling of the lining, it was necessary to cool the space of all overbreaks with additional cooling circuits. Thorough cooling of the completed massive concrete structure, regulation of flow and pressure in the cooling pipeline and monitoring of all recorded temperatures resulted in a flawless result and no thermal cracks were recorded in both tunnel tubes during inspections.

CONCRETE CASTING, FORM STRIKING AND CURING OF THE SECONDARY LINING

Testing of fresh concrete takes place according to Swedish technical regulations only for concrete from the first three mixer trucks, when the concrete batching plant is changed or once every 8 hours when the batching plant operator is changed, if concreting takes longer. The contracting authority does not require more tests of fresh concrete. Basic equipment was purchased for our own use and for inspection of the concrete batching plant, and each delivery of concrete to the construction site was tested. Several times it happened that the mixer truck was returned in the middle of concreting due to inadequate aeration of the concrete or poor consistency. Under the prescribed testing conditions, these negative deviations would not be detected. In the case of checking on hardened concrete, similar rules apply in Sweden as in the Czech Republic and Slovakia. The concreting of the strip footings was carried out using the classic method of compacted concrete. For concreting the first pair of walls, self-compacting concrete of the same formula as for the lining vault was used. The reason was the requirement for the most friendly working environment in the tunnel and the limitation of the negative influence of the vibrations necessary for the compaction of conventional concrete on the human organism. However, it turned out that in such a case it is very difficult to achieve the desired quality of the visible side of the wall after striking the formwork. The reason was the impossibility of ensuring continuous concreting of the walls without any interruption, mainly due to problems with the transport of fresh concrete through the city centre in the morning and afternoon hours. If concreting stopped for only a few minutes, a visible sign of discontinuity appeared on the surface, which fact cannot be effectively influenced in the case of self-compacting concrete, in contrast to manually compacted concrete, where it

is possible to ensure proper connection of fresh concrete by thorough vibrating the individual layers. Several measures were tried: increasing the consistency of fresh concrete to SF2, adjusting the concrete recipe, forcing concrete through the filling holes using the guillotines. However, none of these measures led to satisfactory results, so after an agreement with the contractor for concreting the walls of the tunnel lining, classic compacted concrete with consistency S4 was used. After this change, there were no more significant problems with the concrete surface. In the case of concreting the lining vault, it was not possible to use conventional concrete, because without the possibility of access to the formwork, it cannot be properly compacted and fill the space of all overbreaks. All that was left was to try to coordinate the concreting of the lining vault with the delivery of fresh concrete mixture in order to ensure the smoothest possible filling of the



Obr. 9 Betonáž klenby ostění dvěma betonovými pumpami
Fig. 9 Concreting the lining vault by two concrete pumps



Obr. 10 Měření zralosti betonu pro stanovení času odbednění konstrukce
Fig. 10 Measurement of concrete curing state for determination of formwork striking time

došlo k usazení čerstvého betonu a následnému opatrnému dotlačení betonu do vrchlíku klenby ostění. Tím byla betonáž klenby úspěšně ukončena. Po dokončení betonáže byla ve dne i v noci v několika-hodinových intervalech kontrolována funkčnost chladicího systému a regulován průtok a tlak chladicí vody.

V závislosti na lhůtách stanovených projektovou dokumentací a teplotním výpočtem mohly být jednotlivé konstrukční části odbedněny. Pro klenbu ostění bylo vyžadováno, aby byla konstrukce teplotně izolována minimálně 9–14 dní v závislosti na aktuálním ročním období a teplotě vzduchu. Ta se pohybovala v rozmezí 8,5 °C v zimním období, až 18 °C v letním období. Z pohledu nosné funkce bylo vyžadováno dosažení pevnosti v tlaku minimálně 32 MPa. Ve Švédsku je zvykem stanovit konkrétní dobu odbednění na základě přepočtu z teplot měřených v průběhu tuhnutí a tvrdnutí betonu. Tento přepočet lze sestavit manuálně na základě grafů a tabulek nebo automaticky, kdy je tento proces implementován přímo do datových centrál, které zaznamenávají jednotlivé teploty (obr. 10). Klasický středoevropský přístup založený na zkoušení několikadenní pevnosti betonových vzorků v laboratoři, kdy je na základě takto změřené pevnosti stanovena reálná doba odbednění, není ve Švédsku obvyklý. V případě betonáže první klenby ostění zhotovitel koreloval oba postupy společně s využitím dalších nedestruktivních metod, jako je např. Schmidtovo kladívko. Bylo dosaženo poměrně dobré shody, proto byl v případě dalších klenb využíván již jen tradiční skandinávský přístup. Nutno podotknout, že z hlediska izolační funkce ostění a omezení rizika vzniku trhlin byla doba 9 až 14 dní dostatečná i k dosažení potřebné pevnosti betonu nutné k odbednění konstrukce. Díky tomu, že bylo ostění uchováno v bednění po takto dlouhou dobu, nebylo třeba provádět žádné ošetřování povrchové vrstvy betonu. Odbedňování základových pásů a stěn se řídilo podobnými kritérii jako odbednění klenby ostění, jež je popsáno v předchozí části textu. Pracovní spára mezi základovými pásy, stěnami a klenbou byla vždy patřičně ošetřována.

Po odbednění každého bloku betonáže klenby došlo vždy k vyplnění vrchlíku ostění, provedení vizuální kontroly, broušení pracovních spár a opravám všech povrchových vad. Zadavatel kladl na základě švédských technických standardů velmi vysoké nároky na povrchové vlastnosti ostění a někdy bývá dokonce stanoveno, jaký odstín má betonový povrch mít. Proto bylo třeba některé bloky betonáže dodatečně vybělout, i třeba jen kvůli několika skvrnám od odbedňovacího oleje. Dalo by se říct, že výsledný produkt tak připomínal pohledový beton, i když tak primárně specifikován nebyl.

form. The contractor proposed overnight concreting to the concrete supplier, which would have several benefits, the most important of which was a reduction in the temperature of the fresh concrete, the possibility of using the full capacity of the concrete plant only for the given concreting case and, above all, smoother supply of fresh concrete due to the reduction of the risk arising from the transport of concrete through the capital. However, overnight concreting could not be agreed with the concrete supplier. The reason was the reluctance of the employees of the concrete batching plant and the concrete carrier to work at night, even if all the appropriate surcharges were paid by the contractor.

The largest volume of concreting of the lining vault, with a volume of approx. 480m³, was started at half past five in the morning and lasted almost 18 hours non-stop. Large-capacity readymix trucks with a volume of 10m³ were used as much as possible for the transport of concrete. Two concrete pumps were used simultaneously to transport fresh concrete and ensure uniform filling of the formwork (Fig. 9). In order to ensure uniform filling also in the longitudinal direction of the concreting block, branches were created from concrete hoses that connected the filling openings at one height level. Each pump thus filled at least two filling openings at one time. Before the actual concreting began, the individual branches were lubricated with a cement suspension to avoid clogging of the pipes at the beginning. After connecting the hoses to the individual guillotines, concreting continued to a height of approx. one metre above the level of the given filling point. Subsequently, the branch was connected to a higher level with a continuation up to the top of the formwork of the lining vault. Later, one pump was connected to the lower guillotine in the stop end and the other pump to the guillotine that filled the rear part of the formwork. During concreting, the level of fresh concrete in the form was visually checked through holes through the stop end. As the concreting progressed, the individual cooling circuits were also switched on; the temperatures on the respective sensors, the pressure and the flow of the cooling medium were monitored. After the upper observation gate was closed, concreting slowed down until concrete began to flow from the spy hoses. After that, concreting was interrupted for a few minutes, fresh concrete settled and then the concrete was carefully pressed into the top of the lining vault. Thus, the concreting of the vault was successfully completed. After concreting was completed, the functionality of the cooling system was checked day and night at intervals of several hours, and the flow and pressure of the cooling water was regulated.

Depending on the deadlines set by the design and the temperature calculation, the formwork of individual structural parts could be stripped. For the lining vault, the structure was required to be thermally insulated for a minimum of 9–14 days depending on the current season and air temperature. It ranged from 8.5°C in the winter to 18 °C in the summer. From the point of view of the load-bearing function, it was required to achieve a compressive strength of at least 32MPa. In Sweden, it is customary to set a specific time for striking the formwork based on a calculation from the temperatures measured during the setting and hardening of the concrete. This conversion can be compiled manually based on graphs and tables or automatically, when this process is implemented directly into data centres that record individual temperatures (Fig. 10). The classic Central European approach based on testing the strength of concrete samples for several days in the laboratory, when the actual striking period is determined based on the strength measured in this way, is not common in Sweden. In the case of concreting the first vault of the lining, the contractor correlated both procedures together with the use of other non-destructive methods, such as

ZÁVĚR

Švédské stavebnictví oproti českému a slovenskému pokročilo v digitalizaci všech stavebních procesů. Oficiální komunikace mezi zhotovitelem a zadavatelem probíhá na denní bázi prostřednictvím databázového chatu. Některá významná témata jsou však stále řešena klasicky formou dopisů. Projektová dokumentace existuje pouze digitálně, je digitálně připomínkována a následně i schvalována a sdílána mezi všemi účastníky výstavby online prostřednictvím cloudového úložiště. Na stejném místě jsou uloženy i všechny technologické postupy, kontrolní a zkušební plány, stavební deníky, závěrečné zprávy a dokumenty, které má provozovatel tunelu kdykoli v průběhu životního cyklu tunelu k dispozici. Všechny konstrukční části jsou modelovány ve 3D a sdružovány do jednoho 3D modelu celého úseku (obr. 11), ve kterém se každý snadno orientuje a který obsahuje odkazy na 2D výkresy a současně i některá základní data a výměry nutné k výstavbě. Zatím nejde o plné BIM řešení, nezbyvá ale již mnoho a tento systém bude ve Švédsku standardem.

Švédská kultura je na rozdíl od té středoevropské zaměřena primárně na osoby a jejich pracovní prostředí a komfort a není tolik orientována na cíl a výsledek. V průběhu realizace byla společnost Subterra vyzvána ke spolupráci na výzkumu, který provádí švédský RISE (Research Institutes of Sweden). Výzkum se týkal vlivu pracovního prostředí, hluku a vibrací při hutnění klasického betonu ve srovnání s použitím samozhutnitelného betonu. Zhotovitel tuto nabídku spolupráce přijal a při betonáži stěn osadil své pracovníky čidly měřícími polohu v souřadnicovém systému XYZ a úroveň hluku, gyroskopy, kamerami apod. Měření proběhlo jak při betonáži stěn tunelového ostění samozhutnitelným betonem, tak při betonáži klasickým betonem. Zhotovitel poskytl výzkumníkům kromě naměřených dat i podklady porovnání časové náročnosti a ekonomické stránky. Nyní probíhá celková analýza všech dat.

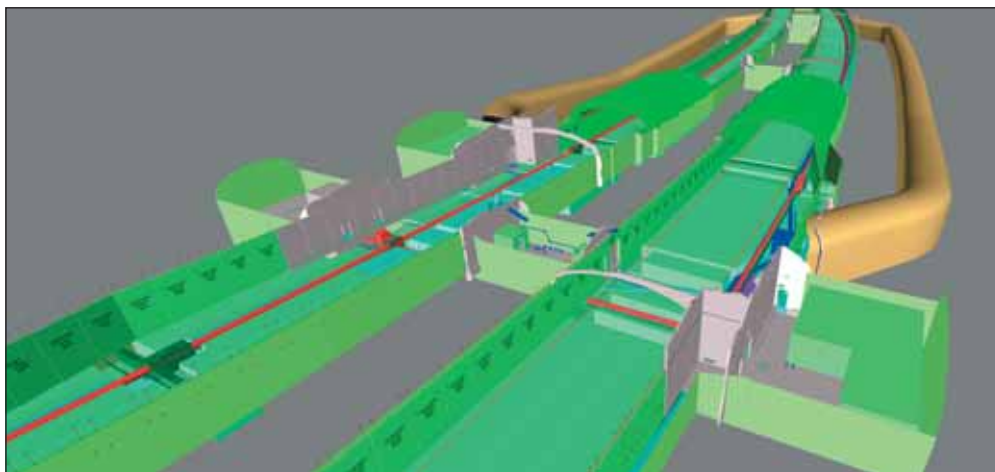
Švédsko je velice specifická země, Švédové jsou velice osobitý a velmi hrdý národ. Stejně tak je i švédský stavební průmysl v mnoha aspektech z pohledu zhotovitele velmi zvláštní. Zajímavá jsou některá technická řešení. Překvapivé jsou navrhované tloušťky některých železobetonových konstrukcí a stupeň jejich vyztužení. Rozporuplně se může jevit rovněž švédský mimořádný důraz na životní prostředí a elektromobilitu, ve chvíli, kdy jsou navrhovány takto masivní konstrukce, a není dovoleno použití směsných cementů. Mimochodem, těžební limity největšího výrobce cementu ve Švédsku na ostrově Gotland jsou už poněkolidkrát dočasně zvyšovány. Při nedostatku cementu probíhá dovoz ze zahraničí, což ekologickou stopu zlepšit nepomůže. Na tomto krátkém úseku délky 40 m v obou tunelových troubach v rámci rozsáhlého projektu

Schmidt hammer rebound test. A fairly good agreement was reached, therefore only the traditional Scandinavian approach was used in the case of additional vaults. It should be noted that, from the point of view of the waterproofing function of the lining and the reduction of the risk of cracks, the period of 9 to 14 days was sufficient to achieve the necessary strength of the concrete required for striking the formwork. Due to the fact that the lining was kept in the formwork for such a long time, no treatment of the concrete surface layer was necessary. The striking of strip footings and walls formwork was governed by similar criteria as the stripping of the lining vault, which is described in the previous part of the text. The construction joint between the strip footings, walls and vault was always properly treated. After striking the formwork of each concrete block of the vault, the lining meniscus was always filled, a visual inspection was carried out, the construction joints were grinded and all surface defects were repaired. Based on Swedish technical standards, the client made very high demands on the surface properties of the lining, and sometimes it is even determined what shade the concrete surface colour should have. Therefore, the surface of some concrete blocks had to be additionally ground, even if only because of a few stains from the formwork striking oil. One could say that the resulting product thus resembled architectural finish concrete, even if it was not primarily specified as such.

CONCLUSION

Compared to the Czech and Slovak construction industry, the Swedish construction industry has advanced in the digitisation of all construction processes. Official communication between the contractor and the client takes place on a daily basis via database chat. However, some important topics are still dealt with classically in the form of letters. Design documents exist only digitally, are digitally annotated and subsequently approved and shared among all construction participants online via cloud storage. All technological procedures, inspection and test plans, construction diaries, final reports and documents available to the tunnel operator at any time during the tunnel's life cycle are also stored in the same place. All structural parts are modelled in 3D and combined into one 3D model of the entire section (Fig. 11), in which it is easy to navigate for everybody and which contains references to 2D drawings as well as some basic data and dimensions necessary for construction. It is not yet a full BIM solution, but there is not much left and this system will be the standard in Sweden.

Unlike the Central European culture, Swedish culture is primarily focused on people and their working environment and comfort, and is not so much oriented towards goals and results. During the construction, Subterra was invited to cooperate in the research carried out by the Swedish RISE (Research Institutes of Sweden). The research concerned the influence of the working environment, noise and vibration during the compaction of conventional concrete compared to the use of self-compacting concrete. The contractor accepted this offer of cooperation and, during the concreting of the walls, equipped his workers with sensors measuring the position in the XYZ coordinate system and the noise level, gyroscopes, cameras, etc. The measurement took place both during concreting of the tunnel



Obr. 11 3D model řešeného úseku

Fig. 11 3D model of the section being solved



Obr. 12 Dokončené sekundární ostění tunelové trouby HT202
Fig. 12 Completed secondary lining of tunnel tube HT202

FSE209 bylo použito přibližně 5500 m³ vysokohodnotného samozhutitelného, provzdušněného betonu C35/45 s polypropylénovými mikrovlnkami, 530 t betonářské výztuže a 8 km chladicího potrubí. Celá výstavba trvala přibližně jeden rok s téměř každodenním nasazením 15 tesařů a betonářů.

Po přečtení tohoto příspěvku čtenáře bezesporu napadne velké množství otázek. Bylo skutečně nutné takto masivní zajištění této poruchové zóny? Pokud ano, nebylo by možné navržené řešení sekundárního ostění optimalizovat, aby nebylo tak komplikované z pohledu realizace a časové náročnosti výstavby? Jedním z návrhů zhotovitele, jak ušetřit čas a následně i náklady, bylo např. dvouvrstvé sekundární ostění, kdy by první vrstva sloužila pouze k výplni nepravidelných nadvylomů. Na ni by následně mohla být osazena klasická hydroizolační membrána, pod kterou by byla zhotovena druhá vrstva ostění konstantní tloušťky. Snížily by se tak nároky na formu bednění i na armování ostění a odstranila by se řada dalších komplikací souvisejících s betonáží a chlazením. Z časových důvodů a návazností dalších prací však k žádným změnám ani optimalizaci nedošlo.

V době tvorby tohoto příspěvku je již v obou tunelových troubach sekundární ostění kompletně zrealizované a úspěšně předané klientovi (obr. 12).

Ing. JAN FALTÝNEK, Ph.D., MBA, EUR ING,
jan.faltynek@sbtsweden.se, Subterra a.s.

Recenzoval Reviewed: Ing. Vladimír Prajzler

lining walls with self-compacting concrete and during concreting with conventional concrete. In addition to the measured data, the contractor also provided the researchers with materials for comparing time requirements and economic aspects. An overall analysis of all data is now underway.

Sweden is a very specific country; the Swedes are a very distinctive and very proud nation. In the same way, the Swedish construction industry is also very special in many aspects from our point of view. Some technical solutions are interesting. The designed thicknesses of some reinforced concrete structures and their reinforcement content are surprising. Sweden's extraordinary emphasis on the environment and electromobility can also appear contradictory, when such massive structures are being designed, and the use of blended cements is not allowed. By the way, the mining limits of Sweden's largest cement producer on the island of Gotland have already been temporarily increased several times.

When there is a shortage of cement, it is imported from abroad, which does not help to improve the ecological footprint. Approximately 5,500m³ of high-grade self-compacting, aerated concrete C35/45 with polypropylene microfibres, 530t of concrete reinforcement and 8km of cooling pipes were used in this short 40m long section in both tunnels as part of the extensive FSE209 project. The entire construction lasted approximately one year with the almost daily deployment of 15 carpenters and concrete workers.

After reading this paper, the reader will no doubt have a lot of questions. Was it really necessary to secure this fault zone so massively? If so, wouldn't it be possible to optimise the designed solution of the secondary cladding so that it is not so complicated from the point of view of construction and time-consuming work? One of the contractor's proposals to save time and subsequently costs was, for example, a two-layer secondary lining, where the first layer would only serve to fill irregular overcuts. A classical waterproofing membrane could subsequently be fitted on its surface, under which a second layer of cladding of constant thickness would be made. This would reduce the demands on the formwork and on the reinforcement of the lining, and a number of other complications related to concreting and cooling would be eliminated. However, due to time reasons and the continuity of other work operations, no changes or optimisation took place. At the time of writing this paper, the secondary lining in both tunnels has already been completed and successfully handed over to the client (Fig. 12).

Ing. JAN FALTÝNEK, Ph.D., MBA, EUR ING,
jan.faltynek@sbtsweden.se, Subterra a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] NĚMEČEK, T., PŘENOSIL, M. Förbifart Stockholm – projekt FSE210. *Tunel* 2017, 1, 62–73.
- [2] NĚMEČEK, T. Förbifart Stockholm – projekt FSE209 ražený tunel Skärholmen. *Tunel* 2017, 4, 17–29.
- [3] NĚMEČEK, T. Ražba pod jezerem Mälaren – Förbifart Stockholm projekt FSE209. *Tunel* 2019, 2, 30–38.
- [4] *E4 The Stockholm bypass*. Project, 2022. Trafikverket. <https://bransch.trafikverket.se/en/startpage/projects/Road-construction-projects/the-stockholm-bypass/> (accessed Oct 10, 2022).
- [5] *Projektová dokumentace E4 Förbifart Stockholm – FSE209 Mälarpassage Sättra – Kungshat*. Stavební projekt. Zpracoval ÅF Infrastruktur, Stockholm 2021.
- [6] *Celostátní sčítání dopravy 2020*. ŘSD ČR. https://scitani.rsd.cz/CSD_2020/pages/map/default.aspx (accessed Oct 10, 2022).

TUNEL ŽABOVŘESKÁ – ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ POHLEDEM ZHOTOVITELE

ŽABOVŘESKÁ TUNNEL – FINAL EVALUATION VIEWED BY CONTRACTOR

DALIBOR STROMČEK, ANDREJ KORBA

ABSTRAKT

Výstavba dvoukolejného tramvajového tunelu Žabovřeská je součástí Velkého městského okruhu města Brna. Jeho délka je 500 m, sestávající ze dvou přesýpaných částí v celkové délce 167 m a ražené části v délce 333 m. Součástí tramvajového tunelu je také úniková štola dlouhá 55 m, která propojuje tunel a sousedící silniční galerii. Upravená trasa Žabovřeské ulice je vedena severojižním směrem údolím řeky Svratky, v rovinatém terénu v místě stávající komunikace I/42 a tramvajové tratě, a následně odklání tunel do areálu bývalého lomu. Tunel byl ražen metodou NRTM v podmínkách proterozoika Brněnského masivu pomocí trhacích prací. Práce na tunelu byly ovlivněny covidovými a post-covidovými podmínkami, se kterými se musela stavba vypořádat. Výsledkem byla netypická řešení, která v konečném důsledku umožnila vznik zajímavé podzemní konstrukce [1], [2].

ABSTRACT

The construction of the double-track tram tunnel Žabovřeská is part of the Large City Ring Road of the city of Brno. It is 500m long, consists of two false tunnel parts with a total length of 167m and a mined part with a length of 333m. The tram tunnel also includes a 55m long escape adit that connects the tunnel and the adjacent road gallery. The modified route of Žabovřeská street is led in a north-south direction through the Svratka river valley, in flat terrain at the location of the existing I/42 road and tram line, and then diverts the tunnel to the area of a former quarry. The tunnel was driven using the NATM method in Proterozoic conditions of the Brno massif using blasting. The work on the tunnel was affected by the covid and post-covid conditions that the construction had to cope with. They resulted into atypical solutions that ultimately enabled the creation of an interesting underground structure [1], [2].

1. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O STAVBĚ

Stavba: I/42 Brno VMO Žabovřeská I, etapa II

- Investor: Ředitelství silnic a dálnic České republiky, Statutární město Brno
- Technický dozor: MORAVIA TDI MID, SHP TS s. r. o., SAFETY PRO s. r. o., Brněnské komunikace a. s.
- Dodavatel: „Společnost Žabovřeská – EUROVIA + HOCHTIEF + SUBTERRA“
- Smluvní podmínky: FIDIC – Red Book
- Zpracovatel RDS: METROPROJEKT Praha a. s.
- Geotechnický monitoring: GEOTest, a.s. a INSET s.r.o.

Dvoukolejný tramvajový tunel dlouhý 500 m, procházející ostrohem Wilsonova lesa v Brně – Žabovřeskách uvolňuje prostor stávajícího tramvajového tělesa ke zkapacitnění pozemní komunikace Velkého městského okruhu (obr. 1, 2). Má jeden tubus, je z větší části ražený, ale téměř třetinu jeho celkové délky tvoří hloubené příportálové úseky. Trasa s protisměrnými oblouky je provedena v podélném sklonu 0,5 %, střechovitě, s roztečí os kolejí 3,1 m. Tramvajový svršek v tunelu tvoří pevná jízdní dráha s pružně uloženými žlábkovými kolejnicemi.

V ražené i přesýpané části tunelu jsou umístěny čistící výklenky pro rubovou drenáž, sloužící současně jako výklenky požární, součástí tunelu jsou ražené rozvodny NN R1 a NN R2 s napojením na únikovou štolu. V obou portálových částech tunelu jsou výklenky pro uložení ručních kolejových vozíků pro jednotky HZS, případně pro servisní a údržbářské práce.

Úniková štola je navržena jako chráněná cesta pro únik osob z tramvajového tunelu v případě havárie, požáru nebo jiné mimořádné události. Světlé rozměry únikové štoly pro pohyb osob jsou 1,7 × 2,5 m, délka je 55,47 m, vyústuje v silniční jednostranné galerii v místě nouzového servisního zálivu. Nechráněné únikové

1. BASIC CONSTRUCTION DATA

Project: I/42 Brno LCRR Žabovřeská I, stage II

- Project owner: Directory of Roads and Motorways of the Czech Republic, Statutory City of Brno
- Technical Supervision: MORAVIA TDI MID, SHP TS s. r. o., SAFETY PRO s. r. o., Brněnské komunikace a. s.



Obr. 1 Umístění stavby
Fig. 1 Construction location



Obr. 2 Pohled na severní hloubenou část a portál únikové štoly
Fig. 2 View of the southern cut-and-cover part and the portal of the escape adit

cesty v tunelu tvoří oboustranné chodníky šířky min 1,0 m podél tramvajové tratě. Povrch chodníků je z monolitického betonu v protiskluzové úpravě.

Svislé stěny portálů tunelu a navazující vnitřní klenbové části tunelu do vzdálenosti cca 50 m od ústí portálů jsou zevnitř opatřeny protihlukovým obkladem (obr. 3). Jedná se o perforované hliníkové lamely s minerální vlnou, třída reakce na oheň A.

2. GEOLOGICKÉ POMĚRY

Zájmové území patří do geomorfologické soustavy Brněnská vrchovina. Z hlediska regionálně-geologického spadá lokalita do proterozoika brněnského masivu. Litologicky se jedná o leukotonality (typ Jundrov) až kvarcdiority a metabazalty. Hornina zastižená ražením tunelu byla výrazně porušená, především tektonicky, což negativně ovlivňovalo postup ražeb a vedlo k nadvýlomům. Geologické podmínky a umístění stavby podrobněji popisuje článek [1].

3. RAŽENÝ TUNEL ŽABOVŘESKÁ

Tunel byl ražený Novou rakouskou tunelovací metodou. Realizace tunelu v primárním ostění byla v zadávací dokumentaci [3] dána podle kvality horninového prostředí třemi předpokládanými technologickými třídami výrubu (TTV) I, II a III. Projektem předpokládané zastižení TTV bylo pro každou třídu přibližně 1/3 délky tunelu. Rozpojování horniny bylo prováděno jak s využitím trhačích prací, tak i strojním rozpojováním, s mechanickým dočištěním líce výrubu. Profil tunelu byl horizontálně členěný na kalotu a opěří (lávku). Ražba tunelu probíhala od severního portálu směrem k jihu.

Pro primární ostění byl navržený stříkaný beton SB25 pevnostní třídy C20/25 s oborem nárůstu pevnosti J2 a stupněm vlivu prostředí XA1. Jako výztuž byly v TTV II a TTV III předepsány ocelové svařované KARI sítě Ø 6/100×100 do ostění tl. 200 mm. Pro ostění tl. 100 mm v TTV I bylo alternativně počítáno s využitím stříkaného betonu s rozptýlenou výztuží. Takový postup byl podmíněn

- Contractor: “The consortium of Žabovřeská – EUROVIA + HOCHTIEF + SUBTERRA”
- Contractual conditions: FIDIC – Red Book
- Author of detailed design: METROPROJEKT Praha a. s.
- Geotechnical monitoring: GEOTest, a.s. and INSET s.r.o.



Obr. 3 Jižní portál raženého tunelu
Fig. 3 Southern portal of the mined tunnel

dopracováním dodatku ke statickému výpočtu. Na základě průkazných zkoušek zhotovitele byl nakonec použit. Ražba a primární zajištění tunelu jsou podrobně popsány v článku [2].

4. REAKCE ZHOTOVITELE NA COVID-19 A NEDOSTATEK MATERIÁLŮ

Práce na tunelu Žabovřeská začaly v únoru 2021, ve vrcholící sezóně covid-19. Světová pandemie postihla rovněž výrobní odvětví, což mělo vliv na nedostatek některých materiálů potřebných pro kontinuální postup prací (nejen) na Žabovřeském tunelu. Tým zhotovitele proto začal hledat řešení, která by utlumila dopady krize na průběh výstavby. Ke „covidovým“ příčinám přistoupily potíže způsobené kvalitou horninového masivu, která byla nižší, než jak ji předpokládala zadávací dokumentace.

TTV se lišily jak postupem rozpojování horniny, tak typem a počtem (výkonem) zajišťovacích prvků. Na základě všech dostupných informací o geologických a hydrogeologických poměrech byl v zadávací dokumentaci stanoven předpokládaný rozsah využití jednotlivých tříd výrubu. Součástí provádění prací v souladu s navrženým řešením byl stálý geotechnický monitoring (GTM). Na základě jeho údajů byla v konkrétním místě personálem zhotovitele a správcem stavby důsledně a průběžně potvrzována či v případě potřeby měněna navržená TTV, tzn. způsob a zajištění ražby tunelu. Tím byl také aktualizován plán zatřídění ražeb.

Pro vyrazení prvních 15 m tunelu pod ochranou mikropilotového deštníku byla predikována TTV II, ale skutečně zastižena byla TTV III. TTV II byla celým tunelem zastižena jen na přibližně 27 m délky a TTV I nebyla zastižena vůbec. Přitom projekt předpokládal cca třetinové zastoupení TTV – viz výše. Už asi po měsíci ražeb tak byla překročena předpokládaná spotřeba materiálu. Do toho přišly „covidové“ problémy s dodávkou materiálu pro vyztužení ostění – tzn. se svorníky a KARI sítěmi.

Tým zhotovitele proto již v průběhu ražeb požádal o doplnění statického výpočtu o alternativní využití polypropylenových (PP) vláken u TTV II a TTV III. Součástí byl také přepočítání zkrácení systémového kotvení z délky 6,0 m na 4,0 m, vzhledem k doposud naměřeným konvergencím, které se pohybovaly v rozmezí od 1,5 do 2,5 mm. Konečná konvergence výrubu tunelu do ustálení po ukončení ražeb byla velmi nízká, v průměru 2 až 9 mm.

Mezi nejvýznamnější změny, vycházející ze skutečného chování horninového masivu při ražbě a reflektující současně realitu „covidu“ tak patřilo využití PP vláken v primárním ostění tunelu, mimo třídu TTV I a únikovou štolu a použití prefabrikovaných drenážních systémů.

5. VYUŽITÍ PP VLÁKEN V PRIMÁRNÍM OSTĚNÍ TUNELU

Na základě zadání zhotovitele byly provedeny průkazné zkoušky stříkaného vláknobetonu s PP vlákny MasterFiber 151, prováděného mokřím procesem (obr. 4). Průkazné zkoušky se uskutečnily již dva měsíce před předpokládaným zahájením ražeb. Byly nastříkány zkušební desky (obr. 5), na kterých probíhalo měření nárůstu pevnosti v čase, a ze kterých byly následně v laboratoři odvrtny a nařezány zkušební vzorky pro stanovení vlastností matérie.

Betonová směs SB25 J2 pro mokřím způsob stříkání, určená pro první vrstvu primárního ostění, byla vyrobená na betonárce podle receptury zadané zhotovitelem. Pro druhou vrstvu ostění a ostění únikové stoly byla vytvořena receptura FSB25 J2, spočívající v použití PP vlákna o množství 6,0 kg/m³. Ze směsi byly na stavbě odebírány vzorky pro stanovení konzistence, objemové hmotnosti, a vyrobeny zkušební desky.

The 500m long double-track tram tunnel passing through the promontory of the Wilson Forest in Brno – Žabovřesky vacates the space of the existing tram body to increase the capacity of the road network of the Large City Ring Road (Fig. 1, 2). It has one tube, it is mined for the major part, but almost a third of its total length is formed by cut-and-cover portal sections. The route with counter curves is carried out on a longitudinal slope of 0.5%, saddle roof-like, with a track axes spacing of 3.1m. The tram trackwork in the tunnel consists of a slab track with elastically born grooved rails.

Cleaning recesses for reverse-side drainage are located in the cut-and-cover and false parts of the tunnel, which also serve as fire protection; the tunnel includes mined distribution substations LV R1 and LV R2 with connections to an escape adit. In both portal parts of the tunnel, there are niches for storing handcars for Fire Rescue Service, and possibly for service and maintenance work.

The escape adit is designed as a protected route for people to escape from the tram tunnel in the event of an accident, fire or other emergency. The dimensions of the finished escape adit for the movement of people are 1.7 × 2.5m, the length is 55.47m; it ends in a one-sided road gallery in the place of the emergency service lay-by. Unprotected escape routes in the tunnel are formed by two-sided walkways with a width of at least 1.0m along the tram line. The surface of the walkways is made of monolithic concrete with non-slip surface.

The inner surface of the vertical walls of the tunnel portals and the connected inner vaulted parts of the tunnel up to a distance of approximately 50m from the portal exits are provided with noise attenuation cladding (Fig. 3). Perforated aluminum lamellas with mineral wool, reaction to fire class A, are used for the cladding.

2. GEOLOGICAL CONDITIONS

The area of interest belongs to the geomorphological system of the Brno Highlands. From a regional-geological point of view, the site belongs to the Proterozoic period of the Brno massif. Lithologically, there are leucotonalites (Jundrov type) to quartzdiorites and metabasalts. The rock encountered in the tunnel by the excavation was significantly affected, especially tectonically, which negatively affected the progress of the excavations and led to overbreaks. The geological conditions and location of the project are described in more detail in paper [1].

3. ŽABOVŘESKÁ MINED TUNNEL

The tunnel was driven using the New Austrian Tunnelling Method. The construction of the tunnel in the primary lining was given in the tender documents [3] according to the quality of the rock environment by three assumed excavation support classes (TTV) I, II and III. The encountering of each excavation support class anticipated by the design was approximately 1/3 of the length of the tunnel for each class. The disintegration of the rock was carried out both with the use of blasting and mechanical disintegration, with mechanical cleaning of the excavation face. The profile of the tunnel was divided horizontally into a top heading and a bench. The tunnel excavation proceeded from the northern portal towards the south. Sprayed concrete SC25 of strength class C20/25 with strength increase range J2 and degree of environmental influence XA1 was designed for the primary lining. As reinforcement, KARI steel welded mesh Ø 6/100×100 was prescribed in excavation support classes II and III to the 200mm thick lining. For the lining 100mm thick in excavation support



Obr. 4 Nástřik zkušební desky z vláknobetonu na stavbě

Fig. 4 Spraying fibre reinforced concrete for a test plate on the construction site



Obr. 5 Čerstvý vláknobeton

Fig. 5 Fresh fibre reinforced concrete

Základní receptura byla určena pro statickou funkci materiálu D3S1. Definice podmínky D3S1 znamená při zatížení zkušebního tělesa v laboratoři 3 MPa průhyb nejvýše 1 mm. Těto podmínky bylo dosaženo. Pevnost v tahu za ohybu stříkaného vláknobetonu tak byla stanovena na základě zkoušek. Projektantem RDS (realizační dokumentace stavby) byla do výpočtu zvolena jako střední hodnota tahové pevnosti $f_{ct,fl}$ pevnost $f_{fp} = 4,8$ MPa, odpovídající minimální hodnotě ohybové únosnosti při vzniku první trhliny. Tato hodnota byla vybrána na základě literární rešerše tahové pevnosti vláknobetonu a drátkobetonu. Běžně je totiž uváděna tahová pevnost menší, než vyplynulo ze zkoušek provedených na zkušebních tělesech. Jako reziduální hodnota tahové pevnosti $f_{ctk,fl,tes}$ pak byla zvolena zbytková ohybová únosnost $f_t = 1,8$ MPa, odpovídající průměrné hodnotě ze zkoušek provedených na zkušebních tělesech (Tab. 1).

Při realizaci byla nahrazena vnitřní vrstva KARI sítě PP vláknem dávkovaným 6 kg/m³. Výhody, které z toho vyplynuly, byly dvě. Použití vláken jednak vyřešilo problémy s včasnými dodávkami dostatečného množství KARI sítě na stavbu a současně se zajistil kontinuální postup ražeb vedoucí k dokončení v plánovaném termínu. A nejen to – sumárně byly ražby zkráceny o jeden měsíc, navzdory zahájení proti plánu o měsíc později. Stříkaný beton s rozptýlenou PP výztuží byl použit i v primárním ostění štoly.

6. VÝSTAVBA TUNELU DVĚMA TECHNOLOGIEMI SOUČASNĚ

Práce na přesýpané části na severu tunelu byly zahájeny těsně před začátkem ražeb. Technologicky tak šlo o dva tunely – první vznikající na povrchu (od provizorního portálu ražené části k definitivnímu portálu) a druhý uvnitř hory. Nezbytný manipulační prostor před vstupem do raženého tunelu byl zajištěn zatímním vyechnáním čtyř dilatačních bloků přesýpaného tunelu v souhrnné délce

class I, it was alternatively calculated to use fibre-reinforced shotcrete. Such a procedure was conditioned by the completion of an appendix to the static calculation based on the contractor's preconstruction tests; it was finally applied. The excavation and primary lining of the tunnel are described in detail in the paper [2].

4. CONTRACTOR'S RESPONSE TO COVID-19 AND MATERIAL SHORTAGES

Work on the Žabovřeská tunnel began in February 2021, at the top of the covid-19 season. The global pandemic also affected the manufacturing sector, which had an effect on the lack of some materials needed for the continuous progress of work (not only) on the Žabovřeská tunnel. The team of contractors therefore began to look for solutions that would dampen the effects of the crisis on the course of construction. Difficulties caused by the quality of the rock mass, which was lower than anticipated by the tender documents were added to the "covid" causes. The excavation support classes differed both in the rock disintegration procedure and in the type and number (strength) of supporting elements. On the basis of all available information on geological and hydrogeological conditions, the expected range of the use of individual excavation support classes was determined in the tender documents. Based on its data, the contractor's and construction manager's staff consistently and continuously confirmed or, if necessary, changed the designed excavation support class, i.e. the method and tunnel excavation support, in a specific location. In this way the excavation classification plan was also updated. Therefore, the contractor's team already requested during excavations that an alternative use of polypropylene (PP) fibres was added to the static calculation of the excavation support classes II and III. A recalculation of the reduction of the length of the system of anchoring from 6m to 4m taking into consideration the convergences measured so far, which ranged from 1.5 to 2.5mm. The final convergence of the tunnel excavation after stabilisation after the completion of excavations was very small, averaging 2 to 9mm.

Among the most significant changes, based on the actual behaviour of the rock mass during excavation and simultaneously reflecting the reality of "covid", was the use of PP fibres in the primary lining of the tunnel, excepting support class I and the escape adit, and the use of prefabricated drainage systems.

5. USE OF PP FIBRES IN THE PRIMARY TUNNEL LINING

On the basis of the contractor's specification, preconstruction tests of fibre reinforced shotcrete with MasterFiber 151 PP fibres, using the wet process, were carried out (Fig. 4). Preconstruction tests were already carried out two months before the expected start of mining. Test plates (Fig. 5) were sprayed, on which the strength increase over time was measured, and from which test samples were subsequently drilled and cut in the laboratory to determine the properties of the material.

SC25 J2 concrete mix for wet spraying, intended for the first layer of the primary lining, was produced in a concrete batching plant according to the formula specified by the contractor. The FSC25 J2 formula consisting of the use of PP fibres in the amount of 6.0kg/m³ was developed for the second lining layer and the lining of the escape adit. Samples were taken from the mixture on the construction site to determine the consistency and bulk density, and test plates were made.

Tab.1 Vyhodnocení zkoušek střikaného vláknobetonu

Označení	Stáří v době zkoušky	Délka	Šířka	Výška	Hmotnost	Objemová hmotnost podle ČSN EN 12390-7	Zatížení při vzniku první trhliny	Ohybová únosnost při vzniku trhliny f_{fp}	Maximální dosažené zatížení	Mezní ohybová únosnost f_{ult}	Maximální zatížení při průhybu 0,5–1,0 mm	Zbytková ohybová únosnost při průhybu 0,5–1,0 mm f_r	Maximální zatížení při průhybu 0,5–2,0 mm	Zbytková ohybová únosnost při průhybu 0,5–2,0 mm f_{r2}	Minimální zatížení při průhybu 0,5–4,0 mm	Zbytková ohybová únosnost při průhybu 0,5–4,0 mm f_{r4}	Průměrná šířka tělesa v místě porušení	Průměrná výška tělesa v místě porušení	Vzdálenost středu trhliny od nejbližší podpory
	den	mm	mm	mm	kg	kg/m ³	kN	MPa	kN	MPa	kN	MPa	kN	MPa	kN	MPa	mm	m,m	mm
6852/1	28	501,1	128,39	75,36	10,715	2210	7,70	4,8	7,74	4,8	3,64	2,3	3,64	2,3	6,64	2,3	128,6	75,1	153
6852,2	28	503,0	126,81	75,02	10,683	2233	10,70	6,7	10,74	6,7	2,35	1,5	2,35	1,5	2,35	1,5	126,9	75,2	175
6852,3	28	502,2	126,40	74,50	10,640	2250	9,59	6,1	9,63	6,1	2,11	1,3	2,1	1,3	2,11	1,3	126,6	75,0	192
6852,4	28	503,1	124,29	74,76	10,476	2241	8,54	5,4	8,59	5,5	3,06	2,0	3,06	2,0	3,06	2,0	124,1	75,4	188
průměrná hodnota						2230		5,7		5,8		1,8		1,8		1,8			
nejistota (±)						-		-											

Table 1 Evaluation of fibre reinforced shotcrete tests

Marking	Age at the time of testing	Length	Width	Height	Weight	Bulk density according to ČSN EN 12390-7	Load at first cracking	Flexural capacity f_{fp} at cracking	Maximum reached load	Ultimate flexural capacity f_{ult}	Maximum load at deflection 0.5–1.0mm	Residual flexural capacity at deflection 0.5–1.0mm f_r	Maximum load at deflection 0.5–2.0mm	Residual flexural capacity f_r at deflection 0.5–2.0mm f_{r2}	Minimum load at deflection 0.5–4.0mm	residual flexural capacity f_r at deflection 0.5–4.0mm f_{r4}	Average width of specimen at the failure	Average height of specimen at the failure	Sparing between the centre and the closest support
	day	mm	mm	mm	kg	kg/m ³	kN	MPa	kN	MPa	kN	MPa	kN	MPa	kN	MPa	mm	m,m	mm
6852/1	28	501.1	128.39	75.36	10.715	2210	7.70	4.8	7.74	4.8	3.64	2.3	3.64	2.3	6.64	2.3	128.6	75.1	153
6852.2	28	503.0	126.81	75.02	10.683	2233	10.70	6.7	10.74	6.7	2.35	1.5	2.35	1.5	2.35	1.5	126.9	75.2	175
6852.3	28	502.2	126.40	74.50	10.640	2250	9.59	6.1	9.63	6.1	2.11	1.3	2.1	1.3	2.11	1.3	126.6	75.0	192
6852.4	28	503.1	124.29	74.76	10.476	2241	8.54	5.4	8.59	5.5	3.06	2.0	3.06	2.0	3.06	2.0	124.1	75.4	188
average value						2230		5.7		5.8		1.8		1.8		1.8			
uncertainty (±)						-		-											

32 m (obr. 6). Po slavnostní prorážce ražené části byla zprovozněna jižní strana pro nezbytnou logistiku a zahájily se práce na zbylých čtyřech blocích s definitivním uzavřením tunelu do jednoho celku. Před tím musela být dokončena rubová drenáž a hydroizolace v ražené části pro navázání hydroizolace z vnitřní strany ražené části na vnější povrch přesypaného tunelu. K oddílování zde posloužila gumová hadice Ø 73 mm, položená na přesahující falešné primární ostění (předštitěk) a izolace obou částí tunelu mohly být spojeny.

Rubovou drenáž v raženém tunelu tvoří předem tvarované profily na bázi tuhého polyvinylchloridu (PVC-U). Základní úhelník je položený na podkladní beton. Do něj se vloží drenážní perforovaná trouba a provede se obsyp těžným šterčkem frakce 16/32. K takto připravené konstrukci byla následně teplotním svárem uchycena hydroizolační fólie.

7. REALIZACE NEVYZTUŽENÉHO SEKUNDÁRNÍHO OSTĚNÍ

Sekundární ostění raženého tunelu je nevyztužené, vyjma čtyř bloků – obou portálových, a dvou bloků s napojením na rozvodu R1 a R2 s únikovou štolou, které jsou vyztužené. Pro betonáž klenby tunelu byla použita ocelová forma délky 8 m, pro přesypané části bylo použito navíc bednění rubu ostění. Jeden betonážní takt trval do 24 hodin, včetně najetí formy, jejího očištění, betonáže a odbednění. Pro přesypanou část sekundárního ostění byla zpracována receptura s hodnotou konzistence S5 betonové směsi. Pro

The basic formula was intended for the static function of the D3S1 material. The definition of condition D3S1 means a deflection of no more than 1mm when the test specimen is loaded by 3MPa in the laboratory. This condition was met. The flexural tensile strength of fibre reinforced sprayed concrete was thus determined on the basis of tests. The designer of the detailed design chose the strength $f_{fp} = 4,8\text{MPa}$ as the mean value of the tensile strength $f_{fct,fl}$, corresponding to the minimum value of the bending capacity at the appearance of the first crack. This value was chosen on the basis of a literature search of the tensile strength of fibre reinforced concrete and steel fibre reinforced concrete. Usually, the stated tensile strength is lower than the strength resulting from the tests carried out on test specimens. As the residual value of the tensile strength $f_{fct,fl,res}$, the residual bending capacity $f_r = 1,8\text{MPa}$ was chosen, corresponding to the average value from the tests performed on the test specimens (Tab. 1).

During construction, the inner layer of the KARI mesh was replaced by PP fibres dosed at 6kg/m^3 . Two advantages resulted from this solution. On the one hand, the use of fibres solved the problems with the timely delivery of a sufficient amount of KARI mesh to the construction site, and at the same time, it ensured a continuous tunnel excavation process leading to the completion on the planned date. And not only that – in total the excavation duration was shortened by one month, despite starting a month later in comparison with the schedule. Sprayed concrete with PP fibre reinforcement was also used in the primary lining of the adit.



Obr. 6 Pracovní mezera mezi raženým a přesypávaným úsekem – pohled z přesypávaného tunelu
Fig. 6 Working gap between the mined tunnel and false tunnel – viewed from the false tunnel

správné technologické provedení sekundárního ostění s omezením tvorby trhlin byl zvolený následující postup [4]:

- zvolená kratší délka pásů 8 m, daná malými poloměry trasy (190 m) a potřebou omezení vzniku trhlin;
- použití mezilehlé fóliové izolace mezi primárním a sekundárním ostěním;
- použití betonové směsi s nízkým hydratačním teplem;



Obr. 7 Výstavba pevné železniční dráhy
Fig. 7 Construction of slab track

6. TUNNEL CONSTRUCTION USING TWO TECHNOLOGIES SIMULTANEOUSLY

Work on the false part in the north of the tunnel started just before the start of the mining operations. Technologically, there were two tunnels – the first originating on the surface (from the temporary portal of the mined part to the definitive portal) and the second one inside the massif. The handling space necessary before entering the mined tunnel was ensured by the temporary omission of four expansion blocks of the false tunnel with a total length of 32m (Fig. 6). After the ceremonial breakthrough of the mined part, the southern side was put into operation for the necessary logistics and work began on the remaining four blocks and the final closing of the tunnel into one unit. Before that, reverse-side drainage and waterproofing in the mined part had to be completed in order to connect the waterproofing from the inside of the mined part to

the outer surface of the false tunnel. A \varnothing 73mm rubber hose was used for the expansion here. It was placed on the protruding false primary lining (pre-tunnel canopy) and the waterproofing of both parts of the tunnel could be joined.

The reverse-side drainage in the mined tunnel consists of in-advance formed profiles based on rigid polyvinyl chloride (PVC-U). The basic angle is placed on the underlying concrete, a perforated drainage pipe is inserted into it and is backfilled with excavated gravel fraction 16/32. A waterproofing membrane was then attached by thermal welding to the structure prepared in this way.

7. CONSTRUCTION OF UNREINFORCED FINAL LINING

The final lining of the mined tunnel is unreinforced, except for four blocks – both portal blocks, and two blocks connected to substations R1 and R2 with the escape adit, which are reinforced. An 8m long steel formwork was used for the concreting of the tunnel vault. The formwork on the reverse side of the lining was used in addition for the false tunnel parts. A formula with a consistency value S5 of the concrete mixture was developed for the false tunnel part of the final lining. The following procedure was chosen for the correct technological execution of the secondary lining with the limitation of cracking [4]:

- the chosen shorter length of the blocks of 8m, given the small radii of the route (190m) and the need to limit cracking;
- the use of intermediate waterproofing membrane between the primary and final linings;
- the use of a concrete mixture developing a low hydration heat;
- the use of a concrete mixture with a slow strength build-up in the initial period after concreting;
- striking the formwork when the concrete strength is around 3 to 5MPa;
- curing of concrete after formwork is removed with a focus on limiting its drying and alleviating the thermal shock (air-conditioned travellers);

- použití betonové směsi s pomalým náběhem pevnosti v počátečním období po betonáži;
- odbednění formy při pevnosti betonu okolo 3 až 5 MPa;
- ošetřování betonu po odbednění se zaměřením na omezení jeho vysychání a zmírnění tepelného šoku (klimavozy);
- použití bednicího vozu s pláštěm dobré tepelné vodivosti (ocel).

V tunelu bylo omezeno proudění vzduchu zavěšením pásů geotextilie na portálech a také před a za bednicí formou. Od přelomu klimatického období podzim/zima byla dále využívána výhřevná tělesa v min. počtu 4 ks, umístěná přímo ve formě. Po odbednění a posunutí byly za formou taženy klimavozy, opatřené nafukovacími manžetami pro utěsnění prostoru mezi lícem ostění a pláštěm vozu. Po odbednění zrajícího betonu byl na povrch nanesen přípravek MasterKure 220 zamezující výpar vody. V období podzim/zima byly aplikovány vrstvy dvě.

Zvláštní pozornost byla věnována v zimních měsících dodržování teploty betonu na stavbě, která nesměla klesnout pod 16 až 18 °C. Proto bylo nutné na betonáře ohřívát záměsovou vodu. Nicméně i přes to dokázala teplota betonu v zimních měsících výrazně zpomalit nebo naopak zrychlit náběh pevnosti betonu a postup prací. Zvláštní pozornost byla věnována také vztakovým silám od betonu uloženého ve formě. To vyžadovalo stavět formu níže – o 1 až 3 cm pod teoretickou hranu sekundárního ostění. Nedodržení tohoto kroku mohlo způsobit trhlinu v sousedící klenbě s dosud relativně čerstvým betonem. Dalším požadavkem, a to nejen z estetických důvodů, bylo důsledně dbát na důkladné čištění povrchu formy. Dokončené sekundární ostění s pevnou jízdni dráhou je na obr. 7.

Pro správný čas odbednění byl nárůst pevnosti betonu kontrolován Schmidovým kladívkem s nástavcem pro nízké pevnosti do 5,0 MPa. Proběhly také ověřovací zkoušky náběhové pevnosti betonové směsi v laboratoři. Odbedňování tak probíhalo v souladu se získanými hodnotami.

8. ZÁVĚR

Žabovřeský tramvajový tunel byl v mnoha ohledech specifický. Navzdory všem problémům byla hrubá stavba tunelu ukončena podle harmonogramu. Využití rozptýlených PP vláken se ukázalo jako vhodná alternativa k tradiční ocelové výztuži, a to i ve velmi rozpukaných skalních horninách. Stavba se díky tomuto řešení značně urychlila. K časové úspoře přispělo také použití prefabsystému rubové drenáže. Časově se stavba tunelu od prvního kopnutí do země po poslední velkou betonáž odehrála v horizontu jednoho roku, konkrétně od února 2021 do února 2022. Zvládnutí problémů na stavbě by také nebylo možné bez výborné spolupráce s investorem, jeho technickým dozorem, zpracovatelem RDS, geotechnickým monitoringem a ostatními členy sdružení EUROVIA – HOCHTIEF – SUBTERRA.

Ing. DALIBOR STROMČEK, DStromcek@subterra.cz,
Ing. ANDREJ KORBA, AKorba@subterra.cz, *Subterra a.s.*

Recenzoval *Reviewed*: Ing. Jan Korejčík

- the use of a tunnel form traveller with a good thermal conductivity (steel) shell.

Air flow was restricted in the tunnel by hanging geotextile strips at the portals as well as in front of and behind the formwork. Since the turn of the autumn/winter climatic period, a minimum of 4 heaters installed directly in the formwork were used. After striking the formwork and shifting it, air-conditioned travellers were pulled behind the formwork, equipped with inflatable sleeves to seal the space between the surface of the lining and the mantle of the traveller. After stripping the curing concrete, MasterKure 220 preventing water evaporation was applied to the surface. In the autumn/winter period, two layers were applied.

Special attention was paid in the winter months to maintaining the temperature of the concrete on the construction site, which was not allowed to drop below 16 to 18 °C. Therefore, it was necessary to heat the mixing water at the batching plant. However, despite this, the temperature of the concrete in the winter months was able to significantly slow down or, on the contrary, speed up the development of concrete early strength and the progress of work. Special attention was also paid to the buoyancy forces exerted by the concrete cast in the formwork. This required building the formwork lower, – 1 to 3cm below the theoretical edge of the secondary lining. Failure to follow this step could have caused a crack in the adjacent vault where the concrete was still relatively fresh. Another requirement, and not only for aesthetic reasons, was to consistently pay attention to the thorough cleaning of the surface of the formwork. The completed secondary lining with a slab track is shown in Fig. 7.

For determining the correct striking time, the increase in concrete strength was checked with a Schmidt hammer with an attachment for low strengths up to 5.0MPa. Verification tests of the early strength of the concrete mixture were carried out in the laboratory. The striking of the formwork took place in accordance with the obtained values.

8. CONCLUSION

The Žabovřeská tram tunnel was specific in many ways. Despite all the problems, the tunnel was structurally completed according to the schedule. The use of PP fibre reinforcement has proven to be a suitable alternative to traditional steel reinforcement, even in highly fractured rock. Thanks to this solution, the construction was considerably accelerated. The use of the prefabricated system of reverse-side drainage also contributed to time savings. In terms of time, the construction of the tunnel, from breaking the ground to the last major concreting, took place over a period of one year, namely from February 2021 to February 2022. Coping with the problems on the construction site would also not be possible without excellent cooperation with the client, his technical supervision, author of the detailed design, geotechnical monitoring and other members of the EUROVIA – HOCHTIEF – SUBTERRA consortium.

Ing. DALIBOR STROMČEK, DStromcek@subterra.cz,
Ing. ANDREJ KORBA, AKorba@subterra.cz, *Subterra a.s.*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] ROŽEK, J. Tramvajový tunel při Velkém městském okruhu Žabovřeská v Brně. *Tunel*, 2021, č. 1, str. 46–53.
- [2] DOHNÁLEK, V., STROMČEK, D., KORBA, A. Tramvajový tunel Žabovřeská – zkušenosti z dosavadního průběhu výstavby. *Tunel*, 2021, č. 4, str. 42–53.
- [3] ZHOŘ, M. I/42 Brno Žabovřeská I etapa II – technická zpráva RDS C605.1. Praha: Metroprojekt a.s., 04/2021, 14 str.
- [4] BERGER, D. I/42 Brno Žabovřeská I etapa II – průvodní zpráva z DSPS. Brno: PK OSSENDORF s.r.o., 07/2019, 11 str.

REKONSTRUKCE ČTYŘ ŽELEZNIČNÍCH TUNELŮ NA TRATI BRNO-MALOMĚŘICE-ADAMOV

RECONSTRUCTION OF FOUR RAILWAY TUNNELS ON THE LINE BRNO-MALOMĚŘICE – ADAMOV

LINDA ČERNÁ VYDROVÁ

ABSTRAKT

Článek se soustřeďuje na práce prováděné firmou Subterra, Divizí 1, na čtyřech tunelech železniční trati mezi Brnem a Blanskem v letech 2021–2022. Zmiňuje historii výstavby tunelů a důvody, které vedly k jejich průběžným stavebním úpravám a rekonstrukcím. Stručně jsou popsány geologické a hydrologické poměry dotčeného území. Těžištěm příspěvku je pak popis provádění odvodňovacích a injektážních prací. Současně jsou rámcově uvedeny činnosti, které bylo nutné provést v portálových i tunelových úsecích sanovaných podzemních děl.

ABSTRACT

The article focuses on works carried out by Subterra, Division 1, performed on four tunnels of the railway line between Brno and Blansko in 2021–2022. It mentions the history of the construction of the tunnels and the reasons that led to their ongoing construction modifications and reconstructions. The geological and hydrological conditions of the area concerned are briefly described. The focus of the paper is a description of dewatering and grouting works. At the same time, the works that had to be carried out in the portal and the tunnel sections of the rehabilitated underground structures are outlined.

ÚVOD

Stavba Brno-Maloměřice – Adamov je stavbou celostátního významu. Význam stavby spočívá v zachování provozuschopnosti traťového úseku, který je součástí důležitého 1. tranzitního koridoru a mezinárodních koridorů RFC 5 a RFC 7. Trať je zároveň začleněna do mezinárodní sítě TEN-T.

Celková délka úseku zrekonstruovaného společností „MALADA“ (sdružení firem Subterra a.s., Strabag Rail a.s. a Elektrizace železnic Praha a.s.), procházejícího úzkým skalnatým údolím řeky Svitavy, činí 9,4 km. V rámci stavby proběhla kompletní rekonstrukce železničního svršku, částečně i spodku, výstavba nové odbočky Svitava a komplexní úprava zastávek Bílovice nad Svitavou a Babice nad Svitavou. Dále byla provedena rekonstrukce vybraných mostních objektů, všech čtyř tunelů, 16 opěrných a zárubních zdí.

INTRODUCTION

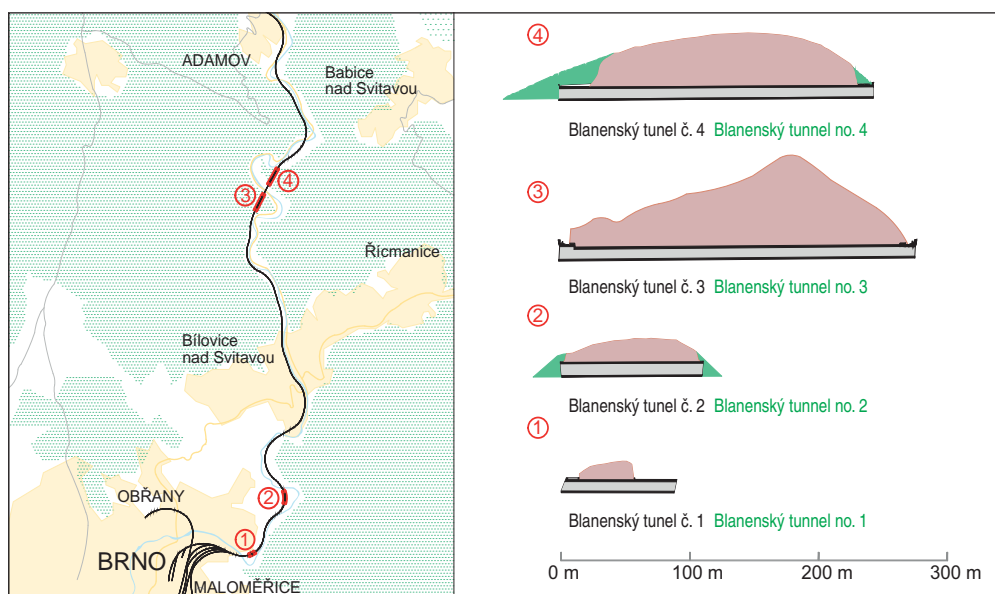
The Brno-Maloměřice – Adamov railway line is a structure of national significance. The importance of the structure lies in maintaining the operability of the line section, which is part of the important 1st transit corridor and the international corridors RFC 5 and RFC 7. The line is also integrated into the international TEN-T network.

The total length of the section reconstructed by “MALADA” (a joint venture of Subterra a.s., Strabag Rail a.s. and Elektrizace železnic Praha a.s.), passing through the narrow rocky valley of the Svitava River, is 9.4km. As part of the project, a complete reconstruction of the track superstructure, partly also of the subgrade, construction of the new Svitava branch line and comprehensive modification of the stops Bílovice nad Svitavou and Babice nad Svitavou took place.

Furthermore, the reconstruction of selected bridge structures, all four tunnels, 16 retaining walls was carried out. In the length of more than 1,500 meters of the railway track, the rock slopes were rehabilitated (Fig. 1).

HISTORY

The construction of the railway line Brno – Česká Třebová by the private company “Severní dráhy císaře Ferdinanda” was started in the fall of 1843. The construction of the most complex section between Brno and Blansko, 21km long, was won in a public competition by the Italian businessman Felice Tallachini with a budget of 283,000 gold coin. The longer, but structurally easier part from Blansko to Česká Třebová was taken over by the Klein Brothers. The



Obr. 1 Přehledná situace trasy Brno Maloměřice – Adamov
Fig. 1 Overview of the Brno Maloměřice – Adamov line



Obr. 2 Celkový pohled na údolí řeky Svitavy
Fig. 2 Overall view of the Svitava river valley

zdroj fotoarchiv Subterra source Subterra photo archive

V délce více než 1 500 metrů železniční trati byly sanovány skalní svahy (obr. 1).

HISTORIE

Stavba železniční trati Brno – Česká Třebová soukromou společností „Severní dráhy císaře Ferdinanda“ byla zahájena na podzim roku 1843. Realizaci nejsložitějšího úseku mezi Brnem a Blanskem délky 21 km získal ve veřejné soutěži italský podnikatel Felice Tallachini s rozpočtem 283 000 zlatých. Delší, ale stavebně snadnější část z Blanska do České Třebové převzali bratři Kleinové. Úsek Maloměřice – Blansko vede okrajem Moravského krasu úzkým a skalnatým údolím řeky Svitavy (obr. 2), kde muselo být vybudováno deset tunelů o celkové délce 1 772 m a také 49 mostů. Ražba tunelů byla prováděna členěným výrubem pomocí rakouské soustavy modifikované s uplatňováním hornických postupů při zajišťování výrubu. Geotechnické podmínky byly na tehdejší technologii provádění ražeb extrémně náročné. Za novou železniční trať v tomto úseku zaplatilo životem 22 dělníků a mnoho dalších bylo zmrzačeno. Průměrný denní postup činil 0,2 m, v nejtěžším úseku 0,16 m [3]. Ačkoliv byly tunely postaveny pro dvojkolejovou trať, byla zde položena pouze jedna kolej. Původní záměr byl uvést tuto trať do provozu nejpozději do konce roku 1846. K zahájení provozu na celé trati Brno – Česká Třebová však došlo se zpožděním až 1. ledna 1849. Druhá kolej byla položena v letech 1856–1858 [4].

Od 60. do 90. let 20. století probíhaly na trati přípravné práce pro elektrifikaci, které spočívaly v přestavbě tunelů s cílem zvětšení průjezdného průřezu. Rekonstrukce byly prováděny za provozu s jedinou kolejí v ose tunelu, kolem které bylo postaveno pažení. Po zvětšení profilu následovala stavba nových betonových portálů. V rámci úprav byl na přelomu 80. a 90. let 20. století postaven také nový tunel pod Novým hradem č. 8/2. Vyražen byl prstencovou metodou Vojenskými stavbami Praha. Jedná se o paralelně vedenou tunelovou troubu s původním tunelem č. 8, jehož profil

Maloměřice – Blansko section runs along the edge of the Moravian Karst through a narrow and rocky valley of the Svitava River (Fig. 2), where ten tunnels with a total length of 1,772m and also 49 bridges had to be built. Excavation of the tunnels was carried out by sequential excavation using the Austrian system modified with the application of mining procedures for supporting the excavation. The geotechnical conditions were extremely demanding for the technology of excavation at the time. In that section 22 workers paid with their lives for the new railway line and many others were crippled for life. The average daily progress was 0.2m, in the most difficult section 0.16m [3]. Although the tunnels were built for a double-track line, only one track was laid there. The original intention was to put that line into operation by the end of 1846 at the latest. However, the start of operation on the entire Brno – Česká Třebová line was delayed until January 1, 1849. The second track was laid in the years 1856–1858 [4].

From the 1960s to the 1990s, preparatory works for the line electrification took place, which consisted in rebuilding the tunnels with the aim of increasing the minimum clearance outline. The reconstructions were carried out simultaneously with one track being operated in the tunnel, around which a partition wall was built. The cross-section enlargement was followed by the construction of new concrete portals. As part of the modifications, a new tunnel under Nový Hrad No. 8/2 was also built at the turn of the 80s and 90s of the 20th century. It was excavated by Vojenské Stavby Praha using the ring method. It is tunnel tube running parallel with the original tunnel No. 8, whose cross-section was not large enough to accommodate a double-track electrified line.

In the years 1996–1999, the entire line Brno – Česká Třebová was electrified and modernized to become the first railway corridor.

REASON FOR THE RECONSTRUCTION OF THE TUNNELS

The use of poor-quality waterproofing materials and inappropriate construction procedures during previous tunnel reconstructions resulted in a significant reduction in operational availability. In 2021, the tunnels showed a very poor structural-technological condition.

nebyl dostatečně velký pro umístění dvoukolejně elektrifikované trati.

V letech 1996–1999 byla celá trať Brno – Česká Třebová elektrifikována a modernizována do podoby prvního železničního koridoru.

DŮVOD REKONSTRUKCE TUNELŮ

Použití nekvalitních hydroizolačních materiálů a nevhodných stavebních postupů při předchozích rekonstrukcích tunelů mělo za následek výrazné zkrácení provozní využitelnosti. Tunely vykazovaly v roce 2021 velmi špatný stavebně-technický stav. Jednalo se zejména o statické narušení obzdvíčky, průsaky podzemní vody na líci ostění a s nimi spojené úkapy na trakční vedení i technologické vybavení v tunelech. V zimním období byl zaznamenáván vznik rampouchů ohrožujících provoz a rozpínání ledu ve spárách nebo prasklinách, který postupně porušoval ostění tunelu. Dále byly zjištěny dutiny za ostěním zejména v místech geologických poruch, degradace materiálů ostění, nefunkční odvodňovací systém a narušená povrchová stabilita skalních svahů na portálech. Ačkoliv se tunely od sebe lišily svou konstrukcí, nejvýznamnější zaznamenané typy poškození byly pro všechny tunely společné [1].

GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY

Zájmová lokalita se nachází, z regionálně geologického hlediska, v oblasti brněnského masivu, který je zde zastoupen hlubinnými magmatickými horninami. Jedná se o biotitické a amfibol-biotitické granodiority typu Královo Pole a Blansko. Granodiority jsou většinou narůžověle šedé barvy (způsobené živci), místy se mohou nacházet i žilné horniny – porfyry, většinou růžové až načervenalé barvy. Horniny jsou zde nerovnoměrně zvětralé, výrazněji zvětralé jsou především podél puklin, kde mohou být silně až zcela zvětralé, až charakteru hrubozrnného písku. Skalní masiv je většinou hustě všesměrně rozpukaný, jednotlivé bloky mají polyedrický tvar. Kvartérní pokryv při povrchu terénu nad tunely je tvořen pouze málo mocnými deluviálními sedimenty a eluvii (cca do 0,5 m) [2].

Podzemní voda v nadloží a v prostoru tunelů komunikuje, bez vzájemné souvislosti, po puklinách. Souvislá hladina podzemní vody v místě tunelů sice neexistovala, při dešťových srážkách a tání sněhu zde však docházelo k lokálnímu nasycení puklin skalního masivu a průsakům vody do tunelu [2].

SO 02-29-01 DVOUKOLEJNÝ TUNEL BLANENSKÝ Č. 1

Blanenský tunel č. 1, zvaný též Obřanský, se nachází nejbližší centru Brna. Je umístěn v ostrém směrovém oblouku pod skalním výběžkem s přírodní památkou Obřanská stráž (obr. 3).

V původní podobě z roku 1848 měl tunel délku 80 m a ve směru od Brna byl osazen reprezentativním empírovým portálem z hladce otesaných bílých lomových kvádrů. Tento portál byl v roce 1989 zapsán na seznam kulturních památek. Při přestavbě tunelu v roce 1996 byl rozebrán na jednotlivé očíslované kvádry a bylo v plánu jej někde opětovně postavit, což byla podmínka památkářů. Dosud však není jasné místo jeho uplatnění a jednotlivé kameny, již bez památkové ochrany, smutně podléhají vlivu času u kolejíšť v Maloměřicích [4, 5]. Tunelová klenba byla vyzděna z cihel, opěry z lomového kamene. Hlavním cílem přestavby v roce 1996 bylo zvětšení průjezdního profilu pro elektrifikovanou trať. Vzhledem k nízkému nadloží (5 až 14 m) a výskytu poruchových zón ve skalním masivu zde došlo k realizaci nákladných technických opatření k zajištění stability. Jednalo

These were mainly structural damage to the lining, groundwater leaks on the lining face and related drips on contact lines and technological equipment in the tunnels. During the winter, the formation of icicles threatening traffic and expansion of ice in joints or cracks was recorded, which gradually damaged the lining of the tunnel. In addition, cavities behind the lining were found, especially in places of geological faults, degradation of the lining materials, a non-functional drainage system and disturbed surface stability of the rock slopes at the portals. Although the tunnels differed structurally, the most significant types of recorded damage were common to all tunnels [1].

GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS

The site of interest is located, from a regional geological point of view, in the area of the Brno massif, which is represented here by deep igneous rocks. These are biotitic and amphibole-biotitic granodiorites of the Královo Pole and Blansko type. Granodiorites are mostly pinkish-grey in color (caused by feldspars), in some places vein rocks – derivatives – porphyries, mostly pink to reddish in color can be found. The rocks here are unevenly weathered, they are more significantly weathered especially along the fissures, where they can be heavily or completely weathered, to the character of coarse-grained sand. The rock massif is mostly densely cracked in all directions, the individual blocks have a polyhedral shape. The Quaternary cover at the surface of the terrain above the tunnels consists only of weak deluvial sediments and eluvium of small thickness (approx. up to 0.5m) [2].

Groundwater in the overburden and in the area of the tunnels communicates, without mutual inter-connection, along cracks. Although there was no continuous groundwater level at the site of the tunnels, during rainfall and snowmelt there was local saturation of the fissures of the rock massif and water seepage into the tunnel [2].

SO 02-29-01 DOUBLE-TRACK BLANENSKÝ TUNEL NO. 1

Blanenský tunel No. 1, also called Obřanský Tunnel, is located closest to the center of Brno. It is located in a sharp horizontal curve under the rock outcrop with the Obřanská Stráž natural monument (Fig. 3).

Originally, from 1848, the tunnel was 80m long and, in the direction from Brno, it was fitted with a representative Empire portal made of smoothly hewn white quarry blocks. The portal was registered in the list of cultural monuments in 1989. During the reconstruction of the tunnel in 1996, it was dismantled into individual numbered blocks and the plan was to re-assemble them in other location, which was a requirement of the historic preservationists. However, the location of the portal re-assembly is still not clear, and the individual stones are sadly subject to the ravages of time without monument protection at the railway yard in Maloměřice [4, 5]. The tunnel vault was built of bricks, the abutments of quarry stone. The main goal of the reconstruction in 1996 was to increase the structure gauge for the electrified line. Due to the low overburden (5 to 14m) and the occurrence of failure zones in the rock massif, expensive technical measures were implemented to ensure stability. On one hand, it was a series of permanent pre-stressed cable anchors (22 pieces) with a length of approx. 40m drilled across, in the overburden. Furthermore, double micropile umbrellas were made in the overburden of the tunnel vault in the longitudinal horizontal direction from both portals. They overlap each other approximately in the middle of the tunnel for a length of 3.0m [1]. The rock was excavated in 1996 by the controlled blasting technique. The new lining in the widened tunnel



zdroj fotoarchiv Subterra source Subterra photo archive

Obr. 3 Obřanská stráž nad Blanenským tunelem č. 1

Fig. 3 Hillside Obřanská stráž above Blanenský Tunnel No. 1

se jednak o řadu trvalých předepjatých pramencových kotev (22 ks) o délce cca 40 m provedených v nadloží, napříč. Dále byly v nadloží klenby tunelu v podélném vodorovném směru od obou portálů provedeny dvojité mikropilotové deštníky. Ty se přibližně v polovině tunelu vzájemně překrývají v délce 3,0 m [1]. Hornina byla v roce 1996 rozpojována trhacími pracemi metodou řízeného výlomu. Nové ostění v rozšířeném profilu tunelu bylo v převážné části provedeno ze stříkaného betonu s KARI sítěmi a tyčovými kotvami o délce 2,5–3,5 m. Plocha příčného řezu nad temenem kolejnice (dále jen TK) byla zvětšena na 71,72 m². V průběhu provádění prací došlo k vykomínování nadloží v levé části vjezdového portálu a k závalu v oblasti tunelového pásu č. 4. Sanace spočívala v zaplombování tunelového nadloží betonem a dosypání do úrovně terénu. Tunel byl dále na obou portálech prodloužen krátkými betonovými tubusy (obr. 4). Jeho současná délka tak činí 87,8 m. Důvodem prodloužení tunelu před portály byla ochrana před pádem úlomků nebo skalních bloků do prostoru kolejí ze skalních stěn, resp. odřezů.

V rámci současné rekonstrukce bylo stávající tunelové ostění v celém rozsahu mechanicky a chemicky očištěno. V ražené části byla provedena předúprava povrchu vodním paprskem a dorovnání profilu tunelu stříkaným betonem. Následovalo osazení KARI sítí kotvených do vrtů. Výztuž byla zastříkána srovnávací vrstvou jemnozrnného betonu SB30, na kterou byla položena v rozsahu opěří a klenby fóliová izolace tloušťky 3 mm. Izolace byla opatřena průchodkami pro kotevní trny pro upevnění druhé vrstvy KARI sítí s následným vytvořením finální povrchové vrstvy ze stříkaného betonu SB30 v tloušťce 80 až 120 mm. Tunel nemá spodní klenbu. Pod kolejovým ložem se nachází spádový beton tloušťky 100 mm s příčným sklonem 2,5 %.

cross-section was mainly made of sprayed concrete with KARI meshes and rock bolts with a length of 2.5–3.5m. The cross-sectional area above the top of the rail (hereinafter referred to as TK) was increased to 71.72m². During the execution of the works, a sinkhole was formed through the overburden in the left part of the entrance portal and a cave-in occurred in the area of tunnel section No. 4. The remediation consisted of sealing the tunnel overburden with concrete and backfilling to ground level. The tunnel was further extended on both portals with short concrete tubes (Fig. 4). Its current length is thus 87.8m. The reason for the extension of the tunnel in front of the portals was to protect against debris or rock blocks falling into the



zdroj fotoarchiv Subterra source Subterra photo archive

Obr. 4 Nový portál Blanenského tunelu č. 1

Fig. 4 The new portal of the Blanenský Tunnel No. 1

Nad oběma portály tunelu a v jejich blízkosti byly skalní svahy zářezu očištěny od náletových dřevin a od zvětralých, uvolněných bloků horniny. Po očištění byly části stávající ochrany skalních zářezů odstraněny. Následovalo definitivní zajištění skalních ploch stříkaným betonem, opláštění ochrannou plastickou mřížovinou a ocelovou sítí horolezeckým způsobem.

Průřez portálových úseků byl zvětšen pro elektrifikovaný dvojkolejný tunel. Vodotěsná izolace tunelu byla podle projektu napojena na betonové portály. Nakonec byl proveden sjednocující nátěr sanovaných železobetonových ploch.

SO 02-29-02 DVOUKOLEJNÝ TUNEL BLANENSKÝ Č. 2

Blanenský tunel č. 2 (obr. 5), zvaný též Bílovický, se nachází ve směrovém oblouku mezi Brnem a Bílovcemi nad Svitavou a prochází skalním hřbetem vycházejícím východním směrem z vrcholu kopce Hradisko do údolí Svitavy. Tunel byl postaven v roce 1848 a mezi lety 1940 až 1996 prošel několika rekonstruk-

track space from the rock slopes, or cut walls. As part of the current reconstruction, the entire existing tunnel lining was mechanically and chemically cleaned. In the excavated part, the surface was pre-treated with a water jet and the profile of the tunnel was leveled with sprayed concrete. This was followed by the installation of anchored KARI meshes. The reinforcement was sprayed with a leveling layer of SB30 fine-grained concrete, on which 3mm thick waterproofing foil was laid in the span of the abutments and the vault. The waterproofing was provided with grommets for anchors fixing the second layer of KARI mesh with the subsequent creation of the final surface layer of SB30 sprayed concrete with a thickness of 80 to 120mm. The tunnel has no invert lining vault. Under the track bed there is a 100mm thick watershed concrete base slab with a cross slope of 2.5%.

Above the two tunnel portals and near them, the rock slopes of the open cut were cleaned of self-seeding trees and weathered, loose blocks of rock. After cleaning, parts of the existing protection of open rock cuts were removed. This was followed by the permanent stabilization of the rock surfaces with sprayed concrete, covering them with protective plastic mesh and steel wire net installed in a rock climbing fashion.

The cross-section of the portal sections was increased for the electrified double-track tunnel. According to the project, the waterproofing foil of the tunnel was connected to concrete portals. Finally, a unifying coating of the renovated reinforced concrete surfaces was carried out.

SA 02-29-02 DOUBLE-TRACK BLANENSKÝ TUNEL NO. 2

Blanenský Tunnel No. 2 (Fig. 5), also called Bílovický Tunnel, is located in a horizontal curve between Brno and Bílovice nad Svitavou and passes through a rocky ridge coming east from the top of Hradisko hill into the Svitava valley. The tunnel was built in 1848 and underwent several reconstructions between 1940 and 1996. The total length is 164.5m and the cross-sectional area above TK is 72.27m². In the portals locations, it was extended with concrete tubes to prevent fragments or entire rock blocks from falling into the track. The rock walls above the portals and in the open cut of the pre-portal section were sprayed with shotcrete. In 1999, the tunnel



zdroj fotoarchiv Subterra source Subterra photo archive

Obr. 5 Portál Blanenského tunelu č. 2 v průběhu rekonstrukce
Fig. 5 Portal of the Blanenský Tunnel No. 2 during reconstruction

cemi. Celková délka je 164,5 m a plocha příčného řezu nad TK činí 72,27 m². V místech portálů byl prodloužen betonovými tubusy, aby bylo zabráněno pádu úlomků případně celých skalních bloků do kolejiště. Skalní stěny nad portály a v zářezu předportálového úseku byly zastříkány betonem. V roce 1999 byl tunel elektrifikován. Ostění je zčásti železobetonové, zčásti ze stříkaného betonu (obr. 6). Řešení sanace Blanenského tunelu č. 2 bylo obdobné jako pro tunel č. 1, proto zde není zvlášť popisováno.

SO 04-29-01 DVOUKOLEJNÝ TUNEL BLANENSKÝ Č. 3

V roce 1848 byl postaven Blanenský tunel s číslem 3, zvaný taktéž Bílovický (obr. 7), který je se svou



zdroj fotoarchiv Subterra source Subterra photo archive

Obr. 6 Blanenský tunel č. 2
Fig. 6 Blanenský Tunnel No. 2



zdroj fotoarchiv Subterra source Subterra photo archive

Obr. 7 Blanenský tunel č. 3
Fig. 7 Blanenský Tunnel No. 3

délkou 276,590 m nejdelším ze čtyř rekonstruovaných tunelů. Zcela zásadním parametrem pro provádění práce na tomto tunelu byla malá světelná plocha příčného řezu nad TK, a to pouhých 54,3 m². Evidovaný průjezdný průřez v tunelu je Z-GCZ3. Záchranné výklenky jsou umístěny vstřícně proti sobě. Celkem jich je 10 párů.

Nosná konstrukce sestává v klenbě z rádkového kamenného zdiva (žulové „kopáky“), v opěrách, základech i spodní klenbě z prostého betonu či betonu slabě vyztuženého. Tloušťka ostění klenby z kamenného zdiva dosahovala v extrémních hodnotách 20 až 73 cm, převážně se pohybovala v rozmezí 30 až 40 cm. Izolace proti vodě byla provedena jen u portálových a příportálových pásů dvěma vrstvami lepenky, jednou vrstvou izolace z PVC a asfaltovými nátěry [2].

Tunel prošel v letech 1949–1950 rekonstrukcí, elektrifikován byl v roce 1970. Při průzkumných pracích v roce 2019 byla v tunelu zastižena nevyplněná mezera za ostěním proměnné hloubky (0,5 až 3 m), kterou způsobily nadvýlomy při přerážení profilu za účelem rozšíření tunelu v letech 1967–1971. Tyto nadvýlomy byly částečně vyplněny kameny spojenými vápenocementovou maltou a kamennou rovnatinou, lokálně byly zastiženy zbytky původní výdřevy. V podélném profilu bylo v silně rozpukaném masivu zaznamenáno několik výrazných kaveren, rovněž vyplněných kamennou rovnatinou a starou výdřevou. Mocnost nadloží nad tunelem dosahuje výšky až 54 m. Odvodnění tunelu zajišťovaly boční oboustranné tunelové stoky o vnitřních rozměrech 300×300 mm, ve spádu cca 3,50 ‰ (ve shodě

was electrified. The lining is partly of the cast in place reinforced concrete, partly of sprayed concrete (Fig. 6). The solution for rehabilitating Blanenský Tunnel No. 2 was similar to that for Tunnel No. 1, so it is not described separately here.

SO 04-29-01 DOUBLE-TRACK BLANENSKÝ TUNNEL NO. 3

In 1848, Blanenský Tunnel No. 3, also called Bílovický Tunnel (Fig. 7), was built, which is the longest of the four currently reconstructed tunnels with its length of 276,590m. A very essential parameter for the work carried out on this tunnel was the small clear cross-sectional area above the TK, only 54.3m². The registered structure gauge in the tunnel is Z-GCZ3. The rescue niches are placed opposite each other. There are 10 pairs in total.

The load-bearing structure consists of the stone masonry vault (granite one-side hewn blocks), and of the plain concrete or weakly reinforced concrete abutments and the invert vault. The thickness of the lining of the vault made of stone masonry reached extreme values of 20 to 73cm, mostly ranging from 30 to 40cm. Waterproofing was carried out only for portal and near-portal areas with two layers of cardboard, one layer of PVC foil and asphalt coatings [2].

The tunnel underwent reconstruction in 1949–1950, it was electrified in 1970. During survey work in 2019, an unfilled gap behind the lining of variable depth (0.5 to 3m) was discovered in the tunnel, which was caused by overbreaks when the profile was excavated for the purpose of widening the tunnel in 1967–1971. These overbreaks were partially filled with stones strengthened with lime-cement mortar and by stone packing, locally the remains of the



zdroj fotoarchiv Subterra source Subterra photo archive

Obr. 8 Portály blanenských tunelů č. 3 a 4
Fig. 8 Portals of Blanenský Tunnels No. 3 and 4

s niveletou koleje) směrem k vjezdovému portálu, kde ústily do sběrného příkopu. Oba portály tunelu ze železobetonu byly prováděny v otevřeném zářezu.

Sanace portálových částí (obr. 8) byla v zadání stavby řešena koncepčně obdobně jako u zbývajících rekonstruovaných tunelů. Při odtěžování zásypů portálových částí tunelu č. 3 byl ale stav oproti předpokladu odlišný. Nebyly zastíženy výplňové betony ani podélná drenáž se svody, lišil se i tvar rubu klenby hloubené části tunelu. Na základě zjištěných skutečností byla dopracována realizační dokumentace, ve které byl na portálech doplněn výplňový beton a stříkaný beton podél bočních částí klenb portálů tak, aby byl vytvořený vhodný podklad pro izolaci. Dále byla doplněna drenáž podél skalních svahů zaústěním do odvodňovacích žlabů hloubených tunelů. Bylo proinjektováno nadloží klenby. Skalní stěny v prostoru portálů tunelu byly zbaveny náletových dřevin a nestabilních částí a odstraněny byly i stávající ochranné sítě.

Tunelové ostění bylo v celém rozsahu mechanicky (strojně, posléze ručně) a chemicky očištěno. Místa lokálních poruch betonového a kamenného zdiva byla sanována speciální maltou. Pronikání vody do prostoru tunelu bylo zabráněno injektáží za ostění klenby s ukončením nad opěrami tunelu. Doplněním injektáže byly vějířovitě odvodňovacích vrtů s dosahem za proinjektovanou zónu nad klenbou. Odvodňovací vrty byly provedeny i v bocích tunelu, s ohledem na skutečný výskyt průsaků a svedením do příčných žlabů se svodnicemi. Svodnice byly vyřezány do ostění strojně, vystrojeny speciálním profilem („alfa žlabem“), tepelně izolovány a v patě tunelu napojeny do tunelových stok. Ty byly vyčištěny a v případě nutnosti byly nahrazeny jejich porušené části. Dále byly nově osazeny kontrolní a revizní šachtičky. Byly kompletně vyměněny kabelovody a na portálových železobetonových plochách byl proveden sjednocující nátěr.

SO 04-29-02 DVOUKOLEJNÝ TUNEL BLANENSKÝ Č. 4

Tunel číslo 4 (obr. 9) byl uveden do provozu v roce 1848. Výrub byl stabilní, proto na třech úsecích o celkové délce 54,4 m nebylo nutné žádné ostění. V letech 1950–1951 byly provedeny větší udržovací práce spočívající v úplné obnově několika tunelových pásů, přezděných lomovým kamenem. V letech 1967–1971 pak proběhla rekonstrukce celého tunelu. Obě opěry a klenby všech pásů, včetně obou portálů, byly provedeny z betonu. Původní světlý profil šířky 8,1 m a výšky 6,5 m byl přitom rozšířen a zvýšen [2]. Při rozšiřování tunelu v roce 1968 došlo v místě tunelových pásů 11 až 13 při těchto pracích k závalu celého profilu.

Dnešní celková délka tunelu, který byl navržen a postaven bez spodní klenby, je 244 m s maximální mocností nadloží cca 40 m. Stávající průjezdný průřez je Z-GC. V tunelu je po obou stranách 18 záchranných výklenků. Podél obou opěr jsou vybudovány odvodňovací stoky se spádem směrem k Brnu a zaústěné do řeky Svitavy. Vedle

original timber were found. In the longitudinal profile, several distinct caverns were recorded in the heavily cracked massif, also filled with stone packing and old timber. The thickness of the overburden above the tunnel reaches a height of up to 54m. Drainage of the tunnel was provided by side tunnel drains with internal dimensions of 300×300mm, with a slope of approx. 3.50‰ (in line with the level of the track) towards the entrance portal, where they led into an open collecting ditch. Both tunnel portals of the reinforced concrete were built in an open cut.

The renovation of the portal parts (Fig. 8) was conceptually planned in the construction contract similarly to the rest of the reconstructed tunnels. However, when the backfilling of the portal parts of tunnel No. 3 was excavated, the actual condition was found different compared to the assumption. No filling concrete or longitudinal drainage with downpipes was found, and the shape of the back of the vault of the cut-and-cover tunnel was also different. On the basis of the findings, the detailed design documentation was completed, in which filling concrete and sprayed concrete were added to the portals along the side of the portals vaults so that a suitable base for waterproofing was created. In addition, drainage along the rock slopes was added by inletting into the drainage ditches of the cut-and-cover tunnels. The overburden of the vault was grouted. The rock walls in the area of the tunnel portals were freed of self-seeding trees and unstable parts, and the existing protective nets were also removed.

The entire tunnel lining was cleaned mechanically (by machine, later by hand) and chemically. Places of local concrete failures and stone masonry were rehabilitated with a special mortar. The penetration of water into the tunnel space was prevented by grouting behind the lining vault ending above the tunnel abutments. The grouting was complemented by fans of drainage boreholes with a reach beyond the grouted zone above the vault. Drainage boreholes were also made in the sides of the tunnel, taking into account the actual occurrence of seepage and inletting into transverse troughs with gutters. Gutters were machine-cut into the lining, equipped with a special profile (the so-called “alpha channel”), thermally insulated and connected to the tunnel drains at the bottom of the tunnel. Those were cleaned and, if necessary, their damaged parts were replaced. In addition, inspection shafts were newly installed. The cable ducts



zdroj fotoarchiv Subterra source Subterra photo archive

Obr. 9 Výjezdový portál Blanenského tunelu č. 4
Fig. 9 Exit portal of Blanenský Tunnel No. 4

odvodňovacích stok jsou v tunelu oboustranně osazeny betonové žlaby pro kabely.

Nad oběma portály a připortálovými pásy byla provedena izolace ze dvou vrstev lepenky A500 s asfaltovým nátěrem a jednou vložkou z PVC. Pod šterkovým ložem obou kolejí byla v celé délce tunelu vybetonována cca 150 mm silná deska se spádem k opěrám.

Sanace portálových částí i tělesa tunelu číslo 4 byla shodná s postupem zvoleným na tunelu číslo 3, tedy nasazením výplňových a těsnících injektáží. Obdobně byl též zastížen jiný skutečný stav konstrukcí, než předpokládala projektová dokumentace.

INJEKTÁŽE

Nejvýznamnější součástí rekonstrukce tunelů č. 3 a 4 byly injektáže, proto budou popsány blíže. Injektážní vrtvy průměru do 50 mm byly v obou tunelech vedeny radiálně – vějířovitě, délka vrtů však byla u obou tunelů odlišná v závislosti na očekávaných podmínkách a fázi injektáže. Vzhledem k porušení horninového masivu, k historickým nadvýlomům, resp. komínům byl před zahájením prací proveden geofyzikální doprůzkum pro bližší identifikaci problematických úseků. K ověření stavu za rubem ostění byly vybrány sanační vrtvy v příslušném vějíři využívány také jako průzkumné. Vrtání i injektáže byly realizovány po etapách. Postup injektáže byl v průběhu provádění prací upřesňován podle stavu zastíženého na místě.

Jako první krok byly rychle reagující chemickou hmotou DSI Inject PUR HF (s nastavenou dobou reakce 60 s a omezeným množstvím na běžný metr vrtu) provedeny horizontální a vertikální clony, kterými byly tunelová trouba a injektované horninové prostředí v příčném a podélném směru rozděleny na jednotlivé sekce. Injekční tlak se pohyboval v rozsahu 0,6 až 1 MPa, dosah injektáže byl sledován pomocí v předstihu zhotovených monitorovacích vrtů.

Druhým krokem byla nízkotlaká cementová injektáž přes obturátory, podle schématu daného realizační dokumentací. U tunelu č. 3 sloužila cementová injektáž primárně k vyplnění prostoru zakládky a ke zpevnění kamenné obezdívky a v každém injektážním úseku byla prováděna opakovaně po etapách. V případě obou tunelů byly cementovou směsí vyplněny dutiny a kaverny menšího rozsahu.



Obr. 10 Tříkotoučová pila Tyrolit
Fig. 10 Tyrolit three-blade saw

were completely replaced and a unifying coating was applied to the portal's reinforced concrete surfaces.

SA 04-29-02 DOUBLE-TRACK BLANENSKÝ TUNEL NO. 4

Tunnel No. 4 (Fig. 9) was put into operation in 1848. Excavation walls were stable, as no lining was necessary in three sections with a total length of 54.4m. In the years 1950–1951, major rehabilitation work was carried out consisting in the complete restoration of several tunnel sections, lined with quarry stone. In the years 1967–1971, the entire tunnel was reconstructed. Both abutments and vaults of all sections, including both portals, were made of concrete. The original cross-section of 8.1m in width and 6.5m in height was widened and increased [2]. During the widening of the tunnel, a collapse of the entire profile occurred in the place of tunnel sections 11 to 13 during these works in 1968.

Today's total length of the tunnel, which was designed and built without an invert vault, is 244m with a maximum overburden thickness of approx. 40m. The existing structure gauge is Z-GC. There are 18 rescue niches on both sides of the tunnel. Drainage channels are built along both abutments with a slope towards Brno and discharge into the Svitava River. In addition to the drainage channels, the tunnel is equipped with concrete channels for cables on both sides.

Waterproofing of two layers of A500 cardboard with asphalt coating and one PVC foil was made above the two portals and adjacent portal areas. Under the gravel bed of both tracks, a 150mm thick slab with a slope towards the abutments was concreted over the entire length of the tunnel.

The rehabilitation of the portal parts and the tunnel No. 4 was the same as the procedure chosen for tunnel No. 3, i.e. the use of filling and sealing grouting. Similarly, a different actual state of the structures than the project documentation assumed was also discovered.

GROUTING

The most important part of the rehabilitation of the tunnels No. 3 and 4 was grouting, so it will be described in more detail. Grouting boreholes with a diameter of up to 50mm were driven radially in both tunnels – in a fan-like fashion, but the length of the boreholes was different in both tunnels depending on the expected conditions and the stage of grouting. Due to the damage of the rock mass, to historical overbreaks, respectively sinkholes, a geophysical survey was carried out before the start of work for a closer identification of problematic sections. To verify the condition behind the back of the lining, selected grouting boreholes in a given fan were also used as exploratory boreholes. Drilling and grouting were carried out in stages. The grouting procedure was refined during the execution of the works according to the situation encountered on site.

As a first step, horizontal and vertical cutoff curtains were made with the fast-reacting chemical substance DSI Inject PUR HF (with a reaction time set to 60s and a limited amount per meter of the borehole), which divided the tunnel tube and the grouted rock environment into individual sections in the transverse and longitudinal directions. The grouting pressure was in the range of 0.6 to 1MPa, the grouting range was monitored using monitoring boreholes built in advance.

The second step was low-pressure cement grouting through the packers, according to the scheme given in the detailed design documentation. In tunnel No. 3, the cement grout was primarily used to fill the foundation area and to strengthen the stone wall, and in each grouting section it was carried out repeatedly in stages. In the case of both tunnels, cavities and smaller caverns were filled with cement mixture.

Třetím krokem bylo vysokotlaké injektování chemickou směsí dále do masivu. Účelem bylo vyplnit zatím nezaplňené dutiny a jemné diskontinuity, případně poruchy za oblastí proinjektovanou cementem. Napěňující chemická směs třetí etapy byla používána také pro dovyplnění případných větších dutin a kaveren, u kterých by cementová směs mohla způsobit nadměrné zatížení ostění. Jako chemická injektáž byly používány dvousložkové polyuretanové směsi od výrobce DSI Schaum Chemie sp. V tunelu číslo 3 bylo přistoupeno ještě k další fázi injektáže, a to nízko viskózní chemickou směsí k dotěsnění injektovaného prostředí. V průběhu injektáží bylo důsledně sledováno, zda nedochází k úniku směsi a deformaci tunelového ostění.

Odvodňovací vrty o průměru do 60 mm byly (jak je již uvedeno výše u tunelu č. 3) vrtány radiálně do klenby i opěří tunelů za proinjektovanou oblast a zaústěny do příčných svodnic šířky 100 mm. Příčné svodnice byly vyřezány strojně tříkotoučovou pilou Tyrolit (obr. 10).

V kombinaci injektáží a odvodňovacích opatření došlo k vyplnění a dotěsnění prostoru za rubem ostění tunelů a zároveň byla organizovaně svedená voda z okolního horninového prostředí do odvodňovacích stok.

ZÁVĚR

Veškeré práce probíhaly v rámci kompletní výluky trati, která byla zahájena 12. prosince 2021 a ukončena 9. prosince 2022. Vlastní rekonstrukce tunelů probíhala od února do listopadu roku 2022. Dálkové vlaky byly během výluky odkloněny přes Havlíčkův Brod, osobní vlaky nahrazeny autobusy. Projekt byl částečně financovaný z úvěru od Evropské investiční banky v rámci nástroje pro propojení Evropy „Connecting Europe Facility“, investorem byla Správa železnic, s.o.

Výše popsaná rekonstrukce byla pro zhotovitele výzvou zejména s ohledem na neutěšený stav portálů i porušeného ostění tunelů s rozsáhlými kavernami za jeho rubem. Současně s rekonstrukcí ostění bylo prováděno projektem zadané osazování fóliového těsnění a injektážní práce místně kombinované s odvodňovacími vrty. Podle skutečně zastižených poměrů a ve spolupráci s projektantem bylo hledáno co nejvhodnější technické řešení, neboť rozsah injektážních prací byl dopředu těžko odhadnutelný. Práce musely být zasazeny do pevného časového rámce vymezeného provozní výlukou trati. Úspěch sanací, především hydroizolačních prací, ukáže až příchod srážkově vydatných měsíců. V každém případě dokončení rekonstrukce tunelů spojených především s provedením hydroizolací přináší firmě Subterra a.s. další cenné praktické zkušenosti.

Ing. LINDA ČERNÁ VYDROVÁ, Ph.D.,
lcernavydrova@subterra.cz, Subterra a.s.

Recenzoval *Reviewed*: Ing. Pavel Polák

The third step was high-pressure grouting of a chemical mixture further into the massif. The purpose was to fill the cavities and fine discontinuities, or faults behind the area grouted with cement, that had not yet been filled. The foaming chemical mixture of the third stage was also used to fill any larger cavities and caverns where the cement mixture could cause excessive load on the lining. Two-component polyurethane mixtures from the manufacturer DSI Schaum Chemie sp. were used as chemical grout. In tunnel No. 3, another stage of grouting was carried out, namely with a low-viscosity chemical mixture to seal the grouted environment. During the grouting, any leakage of the mixture and deformation of the tunnel lining were carefully monitored.

Drainage boreholes with a diameter of up to 60mm were (as already mentioned above for tunnel no. 3) drilled radially into the vault and abutment of the tunnels beyond the grouted area and inlet into transverse gutters with a width of 100mm. Transverse gutters were machine cut with a three-disc Tyrolit saw (Fig. 10).

In a combination of grouting and drainage measures, the space behind the lining of the tunnels was filled and sealed, and at the same time, water from the surrounding rock environment was channeled into the drainage sewers.

CONCLUSION

All work was carried out during a complete closure of train operations on the line, which began on December 12, 2021 and ended on December 9, 2022. The actual reconstruction of the tunnels took place from February to November 2022. During the closure, long-distance trains were diverted through Havlíčkův Brod, passenger trains were replaced by buses. The project was partly financed by a loan from the European Investment Bank under the “Connecting Europe Facility”, the investor was Správa železnic, s.o.

The reconstruction described above was a challenge for the contractor, especially with regard to the dismal state of the portals and the damaged lining of the tunnels with extensive caverns behind it. Simultaneously with the reconstruction of the lining, the installation of foil waterproofing and grouting works, locally combined with drainage boreholes, was carried out as specified by the project. According to the actual conditions and in cooperation with the designer, the most suitable technical solution was sought, as the scope of the grouting works was difficult to estimate in advance. The works had to be fitted into a fixed time frame defined by the operational closure of the line. The success of the rehabilitations, especially the waterproofing works, will only be shown by the arrival of months with abundant rainfall. In any case, the completion of the reconstruction of the tunnels, primarily associated with waterproofing, brings Subterra a.s. another valuable practical experience.

Ing. LINDA ČERNÁ VYDROVÁ, Ph.D.,
lcernavydrova@subterra.cz, Subterra a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] HASÍK, O. *Realizační dokumentace stavby Brno-Maloměřice St.6 – Adamov, BC*. Technická zpráva. Praha: METROPROJEKT, 2022, 45 s.
- [2] KYSELÁK, M. *Zadávací dokumentace stavby Brno-Maloměřice St.6 – Adamov, BC*. Technická zpráva. Brno: SUDOP BRNO, 2020, 170 s.
- [3] HORÁK, V., SVOBODA, R. Z historie podzemních staveb. *Tunel*, 2014, roč. 23, č. 2, s. 106–109.
- [4] NOHEL, P. *Proměny Obřanského tunelu* [online]. 03/2018. Dostupné: <http://spz.logout.cz/infra/obransky.html>
- [5] *Ústřední seznam kulturních památek České republiky* [online]. Praha: Národní památkový ústav. 02/2013. Identifikátor záznamu 161618: Železniční tunel, z toho jen: portál. Památkový katalog.

STANOVENÍ VAROVNÝCH STAVŮ PRO OSTĚNÍ TUNELŮ ZE STŘÍKANÉHO BETONU V PRVNÍCH 28 DNECH VÝPOČTEM

DETERMINATION OF WARNING LEVELS FOR SHOTCRETE TUNNEL LINING IN THE FIRST 28 DAYS BY CALCULATION

JAROMÍR ZLÁMAL

ABSTRAKT

Součástí výstavby podzemních staveb je mimo jiné rovněž geotechnický monitoring. V projektové dokumentaci je obvykle uveden rozsah a náplň monitoringu, dále jsou stanoveny varovné stavy a projektant určí zónu ovlivnění a zónu sledování. Zemina nebo hornina v okolí podzemní stavby není ani homogenní ani izotropní. Do výpočtů pro stanovení mezních stavů únosnosti definovaných deformačními úvahami vstupují přetvárné charakteristiky horninového prostředí, reprezentované modulem pružnosti E , Poissonovým číslem ν a smykovým modulem G a rovněž přetvárné charakteristiky ostění podzemní stavby. Článek se zaměřuje na ostění ze stříkaného betonu v prvních 28 dnech po jeho instalaci. Modul pružnosti E , Poissonovo číslo ν a smykový modul G se v prvních 28 dnech mění, a tím se mění i mezní stavy. Článek popisuje na příkladu tunelu Hřebeč návrh metody jak v průběhu tuhnutí betonu (28 dní) stanovit mezní stav deformace a odtud pak navrhnout bezpečně varovné stavy. Využívá se numerické modelování obecnou polygonální metodou (OPM) vycházející z deformační metody.

ABSTRACT

Geotechnical monitoring is part of the construction of underground structures, among other things. In the project documentation, the scope and contents of the monitoring are usually stated, warning levels are also established, and the designer determines the zone of influence and the monitoring zone. The soil or rock around an underground structure is neither homogeneous nor isotropic. The deformation characteristics of the rock environment, represented by the modulus of elasticity E , Poisson's number ν and the shear modulus G , as well as the deformation characteristics of the lining of the underground structure, enter into the calculations for determining the ultimate limit states and calculations defined by deformation considerations. The article focuses on shotcrete lining in the first 28 days after its installation. The modulus of elasticity E , Poisson's number ν and shear modulus G change in the first 28 days, and thus the limit states also change. Using the example of the Hřebeč tunnel, the article describes a method proposal to determine the limit state of deformation during concrete hardening (28 days) and to design safe warning levels. Numerical modeling by the general bedded-beam-spring method (OPM), based on the deformation method, is used.

1. ÚVOD

Masiv obklopující podzemní stavbu je tvořen zeminovým nebo horninovým prostředím, které není ani homogenní, ani izotropní a jehož přetváření je výrazně ovlivněno také faktorem času. Proto se v oborech, nazývaných aplikovaná geologie, inženýrská geologie a geotechnika, uplatnily různé metody laboratorních a polních zkoušek, jimiž se přetvárné charakteristiky tohoto prostředí vyšetřují.

Součástí každé výstavby podzemních staveb je geotechnický monitoring sestávající z na sebe navazujících činností, které jsou podkladem pro užití třídy vystrojení. Postup monitoringu upřesňují např. *Technické podmínky – Geotechnický monitoring tunelů pozemních komunikací TP 237*.

Při konvenčním tunelování se využívá observační metoda, sledující chování horninového masivu, na jejímž základě lze upravovat postup výstavby. V prvních 28 dnech se navíc mění přetvárné charakteristiky stříkaného betonu, postup výstavby se tedy podle výsledků monitoringu upravuje.

2. VAROVNÉ STAVY OSTĚNÍ ZE STŘÍKANÉHO BETONU

Rychlé vyhodnocení výsledků měření vyžadují předem stanovené varovné stavy, jako důležitý nástroj monitoringu. Výsledná opatření přijatá při návrhu technologických postupů mají za cíl dodržet technické, kvalitativní, ekonomické a bezpečnostní parametry projektu [1].

1. INTRODUCTION

The massif surrounding the underground structure is made of a soil or rock environment that is neither homogeneous nor isotropic and whose deformation is also significantly influenced by the time factor. Therefore, in the fields called applied geology, engineering geology and geotechnics, various methods of laboratory and field tests have been applied to investigate the deformation characteristics of this environment.

Geotechnical monitoring is part of every underground construction, and is consisting of consecutive activities, which are the basis for the use of the tunnel support class. The monitoring procedure is specified in e.g. *Technical specifications – Geotechnical monitoring of road tunnels TP 237*.

In conventional tunneling, the observation method is used, monitoring the behavior of the rock massif, on the basis of which the construction procedure can be adjusted. In addition, during the first 28 days, the deformation characteristics of the sprayed concrete change, so the construction process is adjusted according to the results of the monitoring.

2. WARNING LEVELS OF SHOTCRETE LINING

Quick evaluation of measurement results requires predetermined warning levels, as an important monitoring tool. The resulting measures taken during the design of tunneling sequences aim

Varovný stav při sledování chování ostění tunelu a horninového masivu v okolí tunelu se popisuje jako změna v chování systému, která je hodnocena jako zásadní zvýšení úrovně podstupovaného rizika. V souvislosti s varovnými stavy jsou definovány tyto pojmy:

- stupeň varovného stavu,
- kritérium varovného stavu.

Stupeň (úroveň) varovného stavu je určitý stav v chování horninového masivu anebo stavební konstrukce, který má vztah k cíli monitoringu, určité definované úrovni rizika a je spojen s přijetím určitých opatření. Čím vyšší je stupeň varovného stavu, tím větší je podstupované riziko. To znamená, že horninový masiv či sledovaná stavební konstrukce má blíže ke ztrátě stability nebo k jinému v projektu definovanému nežádoucímu stavu. V průběhu výstavby se definice jednotlivých stupňů varovných stavů upřesňují na základě souhrnného průběžného hodnocení poznatků získávaných monitoringem.

Kritéria pro varovné stavy se stanovují pouze pro nejdůležitější sledované veličiny, jejichž vývoj je pro posouzení žádoucího chování sledovaného systému nejvýznamnější. Zpravidla jde o finální (celkové) velikosti svislých a vodorovných posuvů měřických bodů na primárním ostění (konvergenční měření) a veličiny ukazující průběh poklesové kotlinky na povrchu terénu a dále o velikosti posuvů staticky důležitých stavebních prvků objektů nadzemní zástavby nad raženým tunelem. Pro kritéria varovných stavů se obvykle používají:

- absolutní hodnoty sledovaných veličin;
- vývoj hodnot sledovaných veličin v čase.

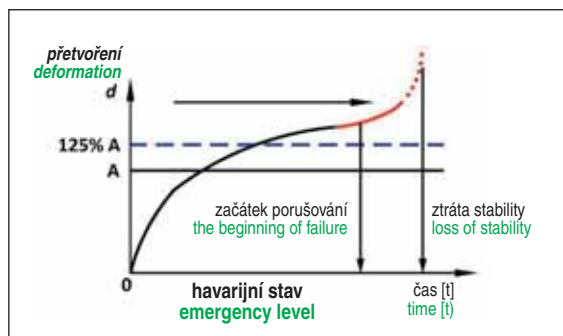
Pro měření veličiny se doporučuje stanovit nanejvýš pět úrovní stupňů varovných stavů (obr. 1):

- stav vysoké míry bezpečnosti;
- stav přípustných změn;
- stav mezní přijatelnosti;
- kritický stav;
- havarijný stav.

3. HAVARIJNÍ STAV

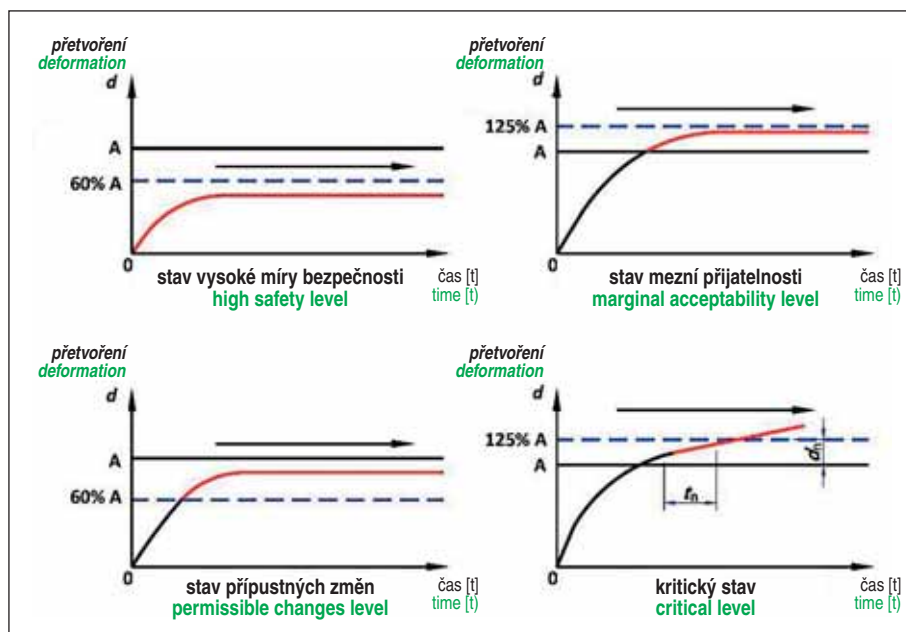
Když měřené veličiny začínají výrazně růst, nebo když nastala mimořádná situace, pak se tento stav nazývá havarijný:

- velikosti sledovaných hodnot vykazují zřetelné zrychlování (obr. 2);



Obr. 2 Havarijný stav [1]

Fig. 2 Level of emergency [1]



Obr. 1 Charakteristiky varovných stavů červeně – průběh deformace, modře – míra varovného stavu [1]
Fig. 1 Characteristics of warning levels, in red – course of deformation, in blue – warning level [1]

to comply with the technical, qualitative, economic and safety parameters of the project [1].

A warning level when monitoring the behavior of the tunnel lining and the rock massif around the tunnel is described as a change in the behavior of the system, which is assessed as a fundamental increase in the level of risk undertaken. The following terms are defined in connection with warning levels:

- warning level,
- warning level criterion.

The degree (level) of the warning level is a certain degree in the behavior of the rock massif or the civil engineering structure, which is related to the goal of monitoring, a certain defined level of risk and is associated with the adoption of certain measures. The higher the level of warning, the greater the risk. This means that the rock massif or the monitored structure is closer to a loss of stability or to another undesirable condition defined in the project. In the course of construction, the definitions of individual warning levels are refined on the basis of a comprehensive continuous evaluation of knowledge obtained through monitoring.

Criteria for warning levels are set only for the most important monitored variables, the development of which is the most significant for assessing the desired behavior of the monitored system. As a rule, these are the final (total) magnitudes of the vertical and horizontal displacements of the measuring nodes on the primary lining (convergence measurement) and quantities showing the course of the settlement trough on the terrain surface, as well as the magnitudes of the displacements of statically important structure elements of the above-ground construction objects above the excavated tunnel. The criteria for warning levels are usually:

- absolute values of monitored quantities;
- development rate of the values of monitored variables over time.

It is recommended to set a maximum of five warning levels for measured quantities (Fig. 1):

- high safety level;
- permissible changes level;

- sledované hodnoty výrazným způsobem překročily stanovenou hodnotu a sledované veličiny předpokládané pro danou fázi výstavby překonaly hodnotu druhého mezního stavu podle Eurokódu 7 pro dotčenou stavební konstrukci.

Na základě monitoringu jsou přijímána opatření tak, aby byla zajištěna bezpečnost a ekonomické řešení vzniklé situace. Přijímaná opatření mají zamezit vzniku mimořádné události s prioritním důrazem na ochranu života pracovníků. Dále mají minimalizovat možné škody na hmotném majetku a umožnit úspěšné zmaňání případné ztráty stability systému ostění – hornina.

4. VÝPOČET MEZNÍCH STAVŮ ÚNOSNOSTI A DEFORMACE

Při statických výpočtech ostění tunelů budovaných Novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM) se navrhuje stanovit bezpečnost projektované konstrukce výpočtem vnitřních sil obecnou polygonální metodou (dále jen OPM) [2], kdy ostění je zatíženo jednotkovým zatížením a zjištěné vnitřní síly (M , N a V – momenty, normálové síly a posouvající/smykové síly) jsou vyhodnoceny v interakčním diagramu (ID) [3]. Z tohoto vyhodnocení se dále zjistí míra využití posuzovaného průřezu [4, 5].

Zatížení v bodech i a j vyvolá statické veličiny M_i , N_i , V_i a M_j , N_j , V_j a vypočtené vnitřní síly v ostění pro body i a j jsou popsány rovnicemi

$$p_i(t) = f(M_i, N_i, V_i), \quad (1)$$

$$p_j(t) = f(M_j, N_j, V_j), \quad (2)$$

pak mezní únosnosti tunelového ostění odpovídají statické veličiny M_{ui} , N_{ui} , V_{ui} , nebo M_{uj} , N_{uj} , V_{uj} , tedy zjednodušený zápis je

$$p_{ui}(t) = f(A_b, A_s, f_{ck}(t), f_y) = f(M_{ui}, N_{ui}, V_{ui}) \quad (3)$$

a také

$$p_{uj}(t) = f(A_b, A_s, f_{ck}(t), f_y) = f(M_{uj}, N_{uj}, V_{uj}), \quad (4)$$

kde A_b je plocha účinného betonu, $f_{ck}(t)$ je pevnost betonu, A_s je plocha účinné výztuže, f_y je mez kluzu oceli.

Mezní únosnost tunelového ostění je pak určena jako $p_{ui}(t)$, a zatížení tunelového ostění je $p_i(t)$, kde při splnění podmínky platí

- marginal acceptability level;
- critical level;
- emergency level.

3. EMERGENCY LEVEL

When the measured values start to increase significantly, or when an emergency situation has occurred, then this is described by the emergency level:

- the magnitudes of the monitored values show a clear acceleration (Fig. 2);
- the observed values significantly exceeded the limit magnitude and the observed values predicted for the given construction phase exceeded the magnitude of the second limit state according to Eurocode 7 for the given structure.

On the basis of monitoring, measures are taken to ensure safety and an economic solution to the situation. The measures taken are intended to prevent the occurrence of an emergency state with a priority emphasis on protecting the lives of workers. They are also intended to minimize possible damage to property and enable successful recovery of any stability loss of the ground-lining system.

4. CALCULATION OF ULTIMATE AND SERVICEABILITY LIMIT STATES

In the static calculations of the lining of tunnels built by the New Austrian Tunneling Method (NRTM), it is proposed to determine the safety of the designed structure by calculating the internal forces using the general bedded-beam-spring method (hereinafter referred to as OPM) [2], when the lining is loaded with a unit load and the determined internal forces (M , N and V – moments, normal forces and shear/shear forces) are evaluated in an interaction diagram (ID) [3]. From this evaluation, the utilization degree of the cross-section under consideration is also determined [4, 5].

The loads at node

s i and j induce the static quantities M_i , N_i , V_i and M_j , N_j , V_j and the calculated internal forces in the lining for nodes i and j are described by the equations

$$p_i(t) = f(M_i, N_i, V_i), \quad (1)$$

$$p_j(t) = f(M_j, N_j, V_j), \quad (2)$$

then the strength limit of the tunnel lining corresponds to the static quantities M_{ui} , N_{ui} , V_{ui} , or M_{uj} , N_{uj} , V_{uj} i.e. the simplified notation is

$$p_{ui}(t) = f(A_b, A_s, f_{ck}(t), f_y) = f(M_{ui}, N_{ui}, V_{ui}) \quad (3)$$

and also

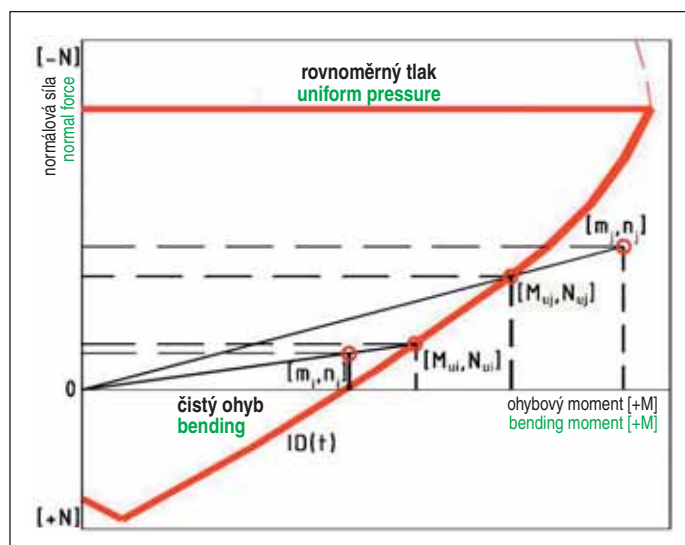
$$p_{uj}(t) = f(A_b, A_s, f_{ck}(t), f_y) = f(M_{uj}, N_{uj}, V_{uj}), \quad (4)$$

where A_b is the effective area of concrete, $f_{ck}(t)$ is the strength of concrete, A_s is the effective area of reinforcement, f_y is the yield strength of steel.

The ultimate resistance of the tunnel lining is then determined as $p_j(t)$, and the load on the tunnel lining is $p_{ui}(t)$, where if the condition is fulfilled

$$p_i(t) < p_{ui}(t), \quad (5)$$

then the structure is verified.



Obr. 3 Interakční diagram – mezní únosnost a skutečné zatížení tunelového ostění [5]

Fig. 3 Interaction diagram – strength limit and actual load of the tunnel lining [5]

$$p_i(t) < p_{ui}(t), \quad (5)$$

pak konstrukce vyhoví.

Stejně je určena mezní únosnost tunelového ostění v bodě j jako $p_{uj}(t)$, a zatížení tunelového ostění je $p_j(t)$, kde při platnosti vztahu platí

$$p_j(t) > p_{uj}(t), \quad (6)$$

pak konstrukce nevyhoví, a musí se hledat řešení vyhovující rovnici (5). Uvedené rovnice vyjadřují zjednodušeně princip Menclových mezí [7].

Pro výrazy zavedené rovnicemi (1) až (6) platí následující vyhodnocení koeficientu únosnosti ostění s_i . Hodnoty zatížení $p_i(t)$ uvedené v obr. 3 jako $[m_i, n_i]$, a únosnosti $p_{ui}(t)$ uvedené jako $[M_{ui}, N_{ui}]$, $p_j(t)$ uvedené jako $[m_j, n_j]$ a únosnosti $p_{uj}(t)$ uvedené jako $[M_{uj}, N_{uj}]$ se vyhodnotí jako únosnost tunelového ostění v bodech i a j (obr. 3).

Koeficient únosnosti pro bod i (resp. j) je s_i definován jako poměr $p_{ui}(t)$ a $p_i(t)$ nebo $p_{uj}(t)$ a $p_j(t)$

$$\frac{p_i(t)}{p_{ui}(t)} = s_i, \quad (7)$$

$$\frac{p_j(t)}{p_{uj}(t)} = s_j. \quad (8)$$

Je-li koeficient $s_i < 1$, ostění tunelu vyhoví na mezním stavu únosnosti (jednotkové zatížení).

Je-li koeficient $s_j > 1$, je překročena mez pevnosti a konstrukce lokálně na mezním stavu únosnosti nevyhoví (jednotkové zatížení).

Stejným způsobem se vyhodnotí koeficient s_i ve všech uzlech po obvodu ostění. Mezní únosnosti ostění je obvykle dosaženo pouze v jednom bodě ostění a posudek ostění je obvykle nutné doplnit o posouzení na mezní stav použitelnosti (deformace) a mezní stav trhlin. Metoda mezní únosnosti tunelového ostění stanoví určité kritické místo na celém obvodu ostění tunelu vypočtením hodnot s_i a následně stanoví mezní deformace Δx a Δy pro vybrané body na ostění tam, kde se bude provádět měření konvergence.

In the same way, the ultimate resistance of the tunnel lining at node j is determined as $p_{uj}(t)$, and the load on the tunnel lining is $p_j(t)$, where if the relation holds

$$p_j(t) > p_{uj}(t), \quad (6)$$

then the structure does not pass verification, and a solution satisfying equation (5) must be sought. The mentioned equations simply express the principle of Mencl limits [7].

For the expressions introduced by equations (1) to (6), the following evaluation of the resistance coefficient of the lining is valid. The load values $p_i(t)$ given in Fig. 3 as $[m_i, n_i]$, and the resistance $p_{ui}(t)$ given as $[M_{ui}, N_{ui}]$, $p_j(t)$ given as $[m_j, n_j]$ and the resistance $p_{uj}(t)$ given as $[M_{uj}, N_{uj}]$ is evaluated as the resistance of the tunnel lining at nodes i and j (Fig. 3).

The resistance for node i (or j) is defined as the ratio between $p_{ui}(t)$ and $p_i(t)$ or $p_{uj}(t)$ a $p_j(t)$

$$\frac{p_i(t)}{p_{ui}(t)} = s_i, \quad (7)$$

$$\frac{p_j(t)}{p_{uj}(t)} = s_j. \quad (8)$$

If the coefficient $s_i < 1$, the lining of the tunnel will comply with the ultimate limit state (unit load).

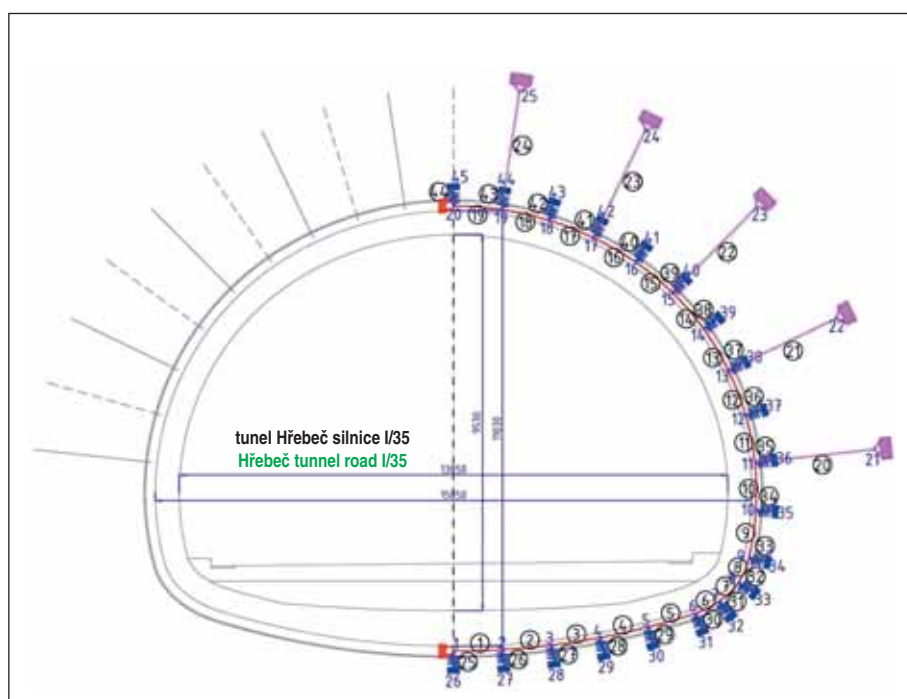
If the coefficient $s_j > 1$, the strength limit is exceeded and the structure will fail verification of the ultimate limit state (unit load).

The coefficient s_i is evaluated in the same way in all nodes along the perimeter of the lining. The strength limit of the lining is usually reached only at one node of the lining, and the assessment of the lining usually needs to be supplemented with an assessment of the serviceability limit state (deformation) and the crack limit state. The strength limit method of the tunnel lining determines a certain critical node on the entire perimeter of the tunnel lining by calculating the values of s_i and subsequently determines the limit deformations Δx and Δy for selected nodes on the lining where convergence measurements will be performed. Deformations are calculated for the entire construction period

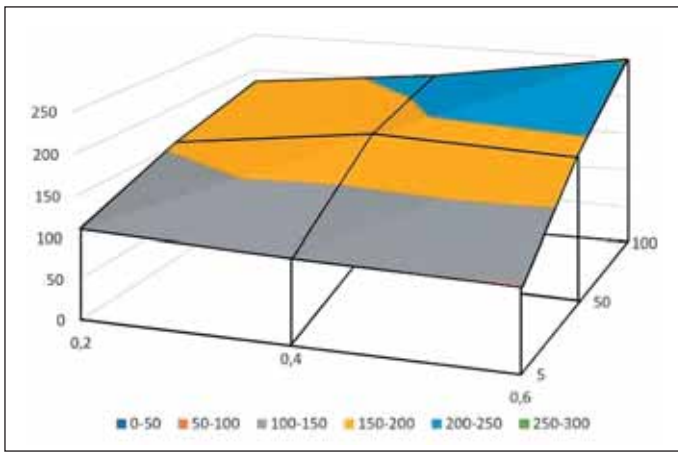
from the start of shotcrete application until its 28-day strength is reached. Limit deformations for 0.25; 0.5; 1; 5; 14; 28 days were calculated for the Hřebeč tunnel. The deformations are dependent on the modulus of the subgrade reaction, the ratio of horizontal to vertical loads, the strength of the concrete and the modulus of deformation. The subgrade reaction modulus k_{vyp} and the lateral pressure ratio p/q are considered constant in the calculation, R_{bt} and E_{bt} are time-varying. In this case, a function is written for the deformation of the vault

$$\Delta_y(t) = f\left(k_{vyp}; \frac{p}{q}; R_{bt}; E_{bt}\right). \quad (9)$$

The calculation results are shown in tab. 1. The ultimate resistance and ultimate deformation Δx and Δy in the period 0.25 to 28 days are given here. As the strength and modulus of deformation increase, the values of resistance capacity and ultimate deformation change. Determining discrete



Obr. 4 Statické schéma OPM (Tunel Hřebeč)
Fig. 4 OPM static diagram (Hřebeč Tunnel)



Obr. 5 Graf únosnosti ostění tunelu Hřebeč pro $k_{vyp} = 5, 50, 100 \text{ MNm}^{-3}$ a pro $p/q = 0,2; 0,4; 0,6$

Fig. 5 Graph of the resistance of the lining of the Hřebeč tunnel for $k_{vyp} = 5; 50; 100 \text{ MNm}^{-3}$ and for $p/q = 0,2; 0,4; 0,6$

Deformace jsou vypočteny pro celou dobu výstavby od zahájení nástřiku betonu až do dosažení jeho 28denní pevnosti. Pro tunel Hřebeč byly vypočteny mezní deformace pro 0,25; 0,5; 1; 5; 14; 28 dní. Deformace jsou závislé na modulu reakce podloží, poměru vodorovného ke svislému zatížení, pevnosti betonu a modulu deformace. Modul reakce podloží k_{vyp} a poměr bočního tlaku p/q je ve výpočtu uvažován jako konstantní, R_{bt} a E_{bt} jsou

values of limit deformations for monitored locations on the tunnel lining is not usual in static calculations performed by FEM for such a wide time spectrum (0,25; 0,5; 1; 5; 14; 28 days). Limit deformation values are usually given only for the 28th day from the start of concreting [6, 7].

5. VERIFICATION OF THE PRIMARY LINING OF THE HŘEBEČ TUNNEL

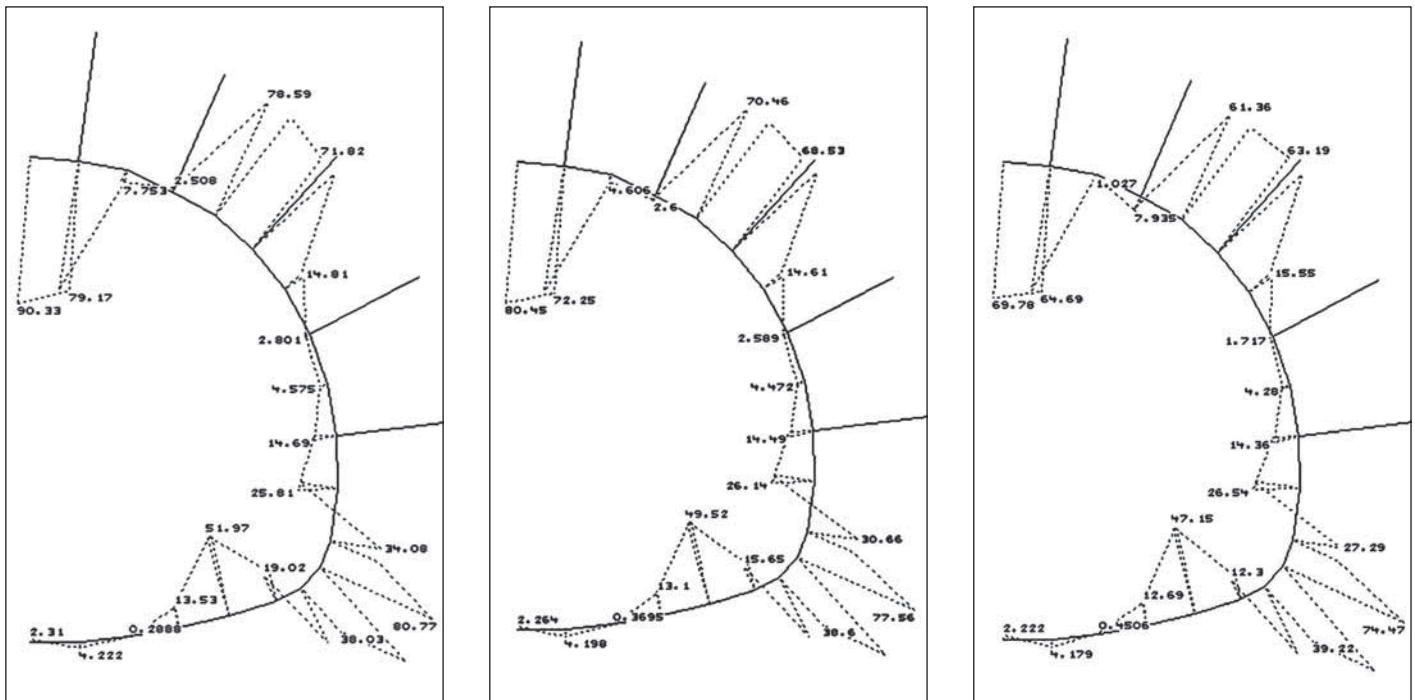
Calculation programs designed for calculating the internal forces of the tunnel lining using the bedded-beam-spring method solving the interaction of the tunnel with the ground by non-linear springs, replace the exact shape of the tunnel lining with a polygon of beams, the rock mass is modeled by a system of oscillating Winkler springs connected to the lining at the vertices of the polygon. The effect of the rock mass on the lining is modeled by the external active load acting at the vertices of the polygon. The calculation takes place in iteration cycles, in the first iteration cycle all Winkler springs modeling the rock are active. After the first iteration cycle, the tension springs are excluded and the calculation continues until all tension springs are excluded and all compression springs in function. This calculation model corresponds to the actual action of the geotechnical structure, the contact surface between the structure and the rock cannot transmit tension, the rock is detached from the structure. Winkler springs simulating rock are introduced into the calculation with unit area and unit length, and their stiffness is specified by the value of the modulus of elasticity E corresponding to the geotechnical

Tab. 1 Únosnost ostění tunelu Hřebeč pro $k_{vyp} = 5, 50, 100 \text{ MNm}^{-3}$ a pro $p/q = 0,2; 0,4; 0,6$

		$p/q = 0,2$				$p/q = 0,4$				$p/q = 0,6$			
		M [kNm]	N [kN]	V [kN]	q [kNm ⁻²]	M [kNm]	N [kN]	V [kN]	q [kNm ⁻²]	M [kNm]	N [kN]	V [kN]	q [kNm ⁻²]
5 [MNm ⁻³]	bok počva	112,97	477,44	50,01	106,60	119,86	510,51	43,79	102,60	128,06	545,33	38,16	98,23
	bok	52,11	373,02	24,19	215,50	41,45	370,67	6,16	270,20	32,85	416,22	14,22	353,30
	klenba	92,54	139,19	49,44	100,30	74,42	229,29	42,02	134,70	55,99	321,18	34,45	192,60
50 [MNm ⁻³]	bok počva	77,72	816,07	55,88	187,90	75,73	802,42	50,82	191,50	73,74	788,78	45,76	195,70
	bok	65,75	663,43	31,75	205,30	56,63	666,36	23,17	239,20	47,51	669,29	14,59	285,70
	klenba	78,20	479,43	21,41	154,30	67,31	526,14	17,57	184,40	56,41	572,85	13,72	227,20
100 [MNm ⁻³]	bok počva	60,99	876,44	53,80	246,90	58,67	850,20	49,37	253,16	56,73	829,36	45,29	259,70
	bok	52,85	724,73	37,48	264,50	51,63	716,30	36,31	269,54	43,74	712,98	26,18	317,40
	klenba	68,49	544,47	16,06	183,80	60,94	578,91	13,22	210,97	51,21	618,90	9,93	257,10

Tab. 1 Lining resistance of Hřebeč tunnel for $k_{vyp} = 5, 50, 100 \text{ MNm}^{-3}$ and $p/q = 0,2; 0,4; 0,6$

		$p/q = 0,2$				$p/q = 0,4$				$p/q = 0,6$			
		M [kNm]	N [kN]	V [kN]	q [kNm ⁻²]	M [kNm]	N [kN]	V [kN]	q [kNm ⁻²]	M [kNm]	N [kN]	V [kN]	q [kNm ⁻²]
5 [MNm ⁻³]	abutment invert	112,97	477,44	50,01	106,60	119,86	510,51	43,79	102,60	128,06	545,33	38,16	98,23
	abutment	52,11	373,02	24,19	215,50	41,45	370,67	6,16	270,20	32,85	416,22	14,22	353,30
	vault	92,54	139,19	49,44	100,30	74,42	229,29	42,02	134,70	55,99	321,18	34,45	192,60
50 [MNm ⁻³]	abutment invert	77,72	816,07	55,88	187,90	75,73	802,42	50,82	191,50	73,74	788,78	45,76	195,70
	abutment	65,75	663,43	31,75	205,30	56,63	666,36	23,17	239,20	47,51	669,29	14,59	285,70
	vault	78,20	479,43	21,41	154,30	67,31	526,14	17,57	184,40	56,41	572,85	13,72	227,20
100 [MNm ⁻³]	abutment invert	60,99	876,44	53,80	246,90	58,67	850,20	49,37	253,16	56,73	829,36	45,29	259,70
	abutment	52,85	724,73	37,48	264,50	51,63	716,30	36,31	269,54	43,74	712,98	26,18	317,40
	vault	68,49	544,47	16,06	183,80	60,94	578,91	13,22	210,97	51,21	618,90	9,93	257,10



Obr. 6 Průběhy momentů (kNm) pro $k_{vyp} = 50 \text{ MNm}^{-3}$ a pro $p/q = 0,2; 0,4; 0,6$
 Fig. 6 Moments distribution (kNm) for $k_{vyp} = 50 \text{ MNm}^{-3}$ and for $p/q = 0.2; 0.4; 0.6$

proměnné v čase. V tomto případě se napíše pro deformaci klenby funkce

$$\Delta_y(t) = f\left(k_{vyp}; \frac{P}{q}; R_{bt}; E_{bt}\right). \quad (9)$$

Výsledky výpočtu jsou uvedeny v tab. 1. Je zde uvedena mezní únosnost a mezní deformace Δx a Δy v období 0,25 až 28 dní. Nárůstem pevnosti a modulu deformace se hodnoty mezní únosnosti a mezní deformace mění. Stanovení diskretních hodnot mezních deformací pro monitorovaná místa na ostění tunelu nebývá ve statických výpočtech prováděných MKP pro tak široké časové spektrum (0,25; 0,5; 1; 5; 14; 28 dní) obvyklé. Hodnoty mezních deformací jsou uváděny obvykle jen pro 28. den od zahájení betonáže [6, 7].

5. POSOUZENÍ PRIMÁRNÍHO OSTĚNÍ TUNELU HŘEBEC

Výpočetní programy určené pro výpočet vnitřních sil ostění tunelu polygonální metodou řešící interakci tunelu s horninovým prostředím s nelineárními podporami typu podloží prutové konstrukce, nahrazují přesný tvar ostění tunelu polygonem, horninový masiv je modelován soustavou kyvných Winklerovských pružin připojených k ostění ve vrcholech polygonu. Působení horninového masivu na ostění je modelováno vnějším aktivním zatížením působícím ve vrcholech polygonu. Výpočet probíhá v iteračních cyklech, v prvním iteračním cyklu jsou všechny Winklerovské pružiny modelující horninu aktivní. Po prvním iteračním cyklu jsou tažené pružiny vyloučeny a výpočet probíhá tak dlouho, dokud nejsou všechny tažené pružiny vyloučeny a zároveň všechny tlačené pružiny ve funkci. Tento výpočetní model odpovídá přibližně skutečnému působení geotechnické konstrukce, styčná plocha mezi konstrukcí a horninou nemůže přenášet tah, dochází k odtržení horniny od konstrukce. Winklerovské pružiny simulující horninu se do výpočtu zavádějí jednotkovou plochou a jednotkovou délkou a jejich tuhost se zadává hodnotou modulu pružnosti E odpovídající geotechnickému prostředí. Výpočet velikosti modulu reakce

environment. The calculation of the magnitude of the subgrade reaction modulus \bar{k}_i of elastic Winkler springs can be written in the form

$$\bar{k}_i = k^{(\sigma)} \frac{l_i + l_{i+1}}{2} b, \quad (10)$$

where $k^{(\sigma)}$ is the modulus of the subgrade reaction depends not only on the geotechnical parameters of the rock, but also on the shape of the structure and is usually determined according to B. G. Galerkin [see 10]

$$k^{(\sigma)} = \frac{E}{R(1+\nu)}, \quad (11)$$

where l_i is the length of the side of the polygon and b is the width of the lining ring, which is usually 1m, E is the modulus of rock deformation, R is the radius of the circle representing the tunnel opening and ν is Poisson's number (Fig. 4).

First, the strength limit of the lining with $\text{Ø}32\text{mm}$ anchors and length of 6m is determined for different deformation modules and different lateral pressure of the massif surrounding the tunnel. The values of $k_{vyp} = 5, 50, 100 \text{ MNm}^{-3}$ [8] are used for the modulus of the subgrade reaction, and the values for the ratio of lateral pressure to vertical pressure $p/q = 0.2; 0.4; 0.6$ are used for the lateral pressure. The results are shown in tab. 1 and Fig. 5.

According to calculations of the resistance for different modulus of subgrade reaction k_{vyp} and for different lateral pressure p/q , it is suggested to use $k_{vyp} = 50 \text{ MNm}^{-3}$ and $p/q = 0,4$ for dimensioning. The smallest resistance $q = 184,4 \text{ kNm}^{-2}$ in the vault (Fig. 6).

Determining the strength limit of the lining and subsequently the deformation limit in the first 28 days is only possible with knowledge of the concrete strength and deformation modulus development in those days. Data for a very long period (1990–2014) are shown in Fig. 7, 8. Two regression curves are fitted for the strength of shotcrete, the increase from 6 to 360 minutes (0.0041–0.25 days) is significantly different from that in period

podloží \bar{k}_i pružných Winklerovských opěr lze zapsat ve tvaru

$$\bar{k}_i = k^{(\sigma)} \frac{l_i + l_{i+1}}{2}, \quad (10)$$

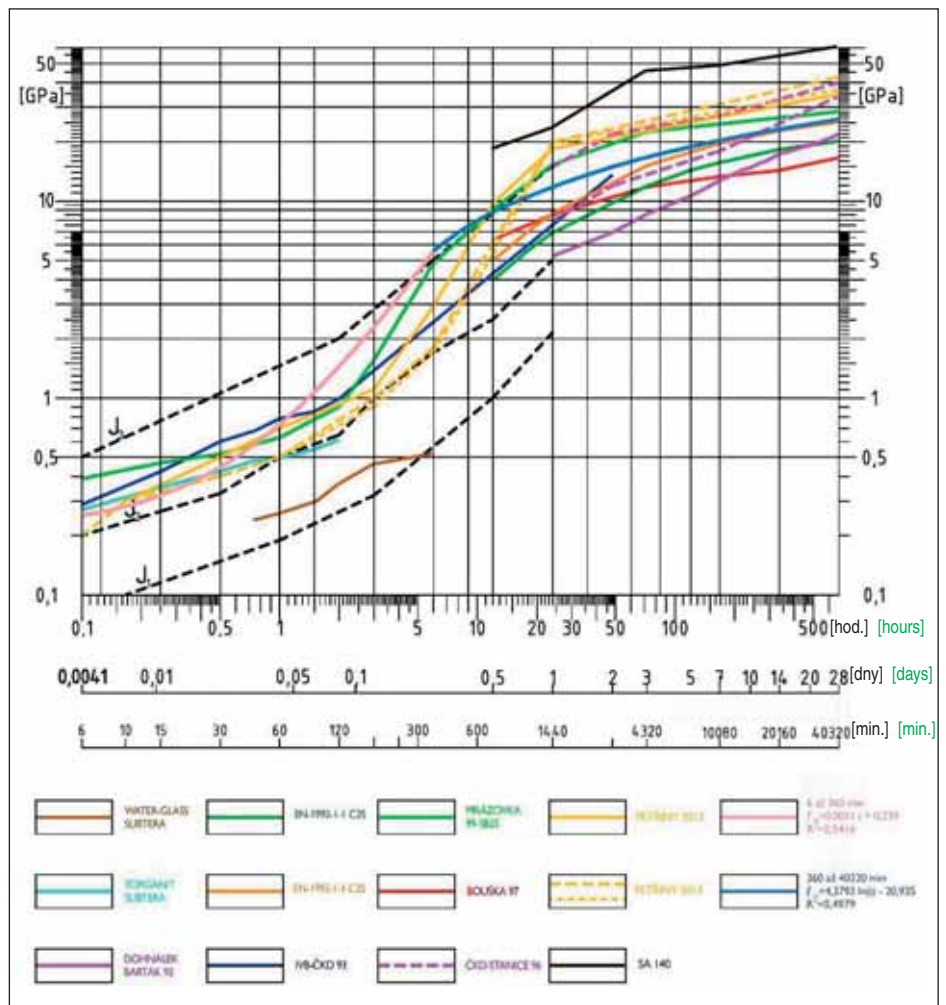
kde $k^{(\sigma)}$ je modul reakce podloží, které závisí nejen na geotechnických parametrech horniny, ale rovněž na tvaru konstrukce a stanovuje se obvykle podle B. G. Galerkina [viz 10]

$$k^{(\sigma)} = \frac{E}{R(1+\nu)}, \quad (11)$$

kde l_i je délka strany mnohoúhelníku a b je šířka prstence posuzovaného ostění, která je obvykle 1 m, E je modul deformace horniny, R je poloměr kružnice nahrazující výrub a ν je Poissonovo číslo (obr. 4).

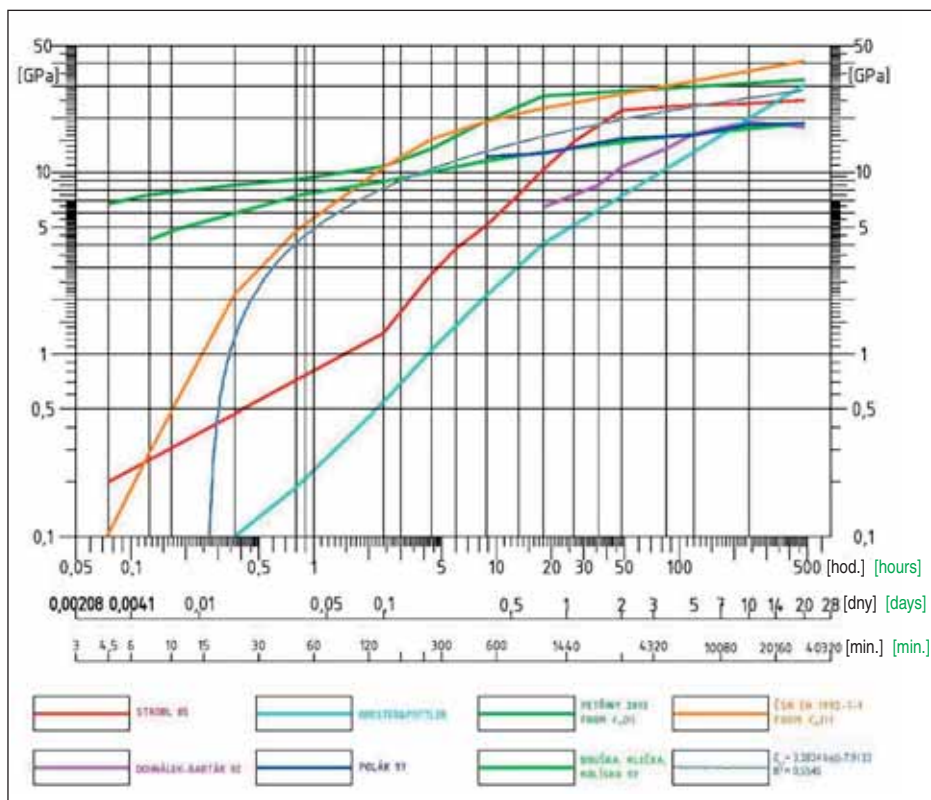
Nejprve se stanoví mezní únosnost ostění s kotvami $\varnothing 32$ mm a délky 6 m pro různé moduly deformace a různý boční tlak masivu obklopujícího tunel. Pro modul reakce podloží se použijí hodnoty $k_{\text{výp}} = 5, 50, 100 \text{ MNm}^{-3}$ [8] a pro boční tlak jsou použity hodnoty pro poměr bočního tlaku ke svislému tlaku $p/q = 0,2; 0,4; 0,6$. Výsledky jsou uvedeny v tab. 1 a obr. 5.

Podle výpočtů únosnosti pro různý modul reakce podloží $k_{\text{výp}}$ a pro různý boční tlak p/q se pro dimenzování navrhuje použít $k_{\text{výp}} = 50 \text{ MNm}^{-3}$ a $p/q = 0,4$. Nejmenší únosnost $q = 184,4 \text{ kNm}^{-2}$ je v klenbě (obr. 6).



Obr. 7 Naměřené pevnosti stříkaných betonů a regresní křivka [5]

Fig. 7 Measured strengths of sprayed concrete and regression curve [5]



Obr. 8 Naměřené moduly deformace stříkaného betonu a regresní křivka [5]

Fig. 8 Measured deformation moduli and regression curve [5]

360 to 40320 minutes (0.25–28 days). For a period of 6 to 360 minutes, an equation is proposed

$$f_{ck} = 0.0051x + 0.2389.$$

$$R^2 = 0.5416.$$

For the period 360 to 40320 minutes, an equation is proposed

$$f_{ck} = 4.3793 \ln(x) + 20.935.$$

$$R^2 = 0.4979.$$

One curve is fitted for the deformation modulus and an equation is proposed

$$E_{cd} = 3.2824 \ln(x) + 7.9132.$$

$$R^2 = 0.5545.$$

Calculation of the so-called Mencil' limit [7] performed for 0.25; 0.5; 1; 5; 14; 28 days for f_{ck} and E_{cd} variables is done for abutment and vault. The first Mencil limit $Q_{1(t)}$ or $M_{1(t)}$ indicates how large a load could be applied on the system, which has not yet been loaded, in time t , without exhausting the lining resistance. The function $Q_{2(t)}$ is the

Tab. 2 Výpočet Menclovy meze pro 0,25; 0,5; 1; 5; 14 a 28 dní

		1. MENCLOVA MEZ		$k_{vyp} = 50 \text{ MNm}^{-3}$		$p/q = 0,4$		s kotvami		tloušťka ostění 250 mm			
DNY		0,25		0,5		1		5		14		28	
f_{ck} (MPa)		4,946		7,994		11,042		18,118		22,646		25,693	
E_{cd} (GPa)		11,407		13,683		15,958		21,241		24,114		26,895	
Ostění		opěří	klenba	opěří	klenba	opěří	klenba	opěří	klenba	opěří	klenba	opěří	klenba
Maximální statické hodnoty	M (kNm)	87,174	54,030	94,526	58,179	101,069	62,103	114,126	70,514	120,347	74,763	125,939	78,704
	N (kN)	488,894	214,484	494,840	218,802	499,549	222,108	507,530	227,425	510,753	229,440	513,370	231,006
	V (kN)	35,176	43,238	37,059	42,882	38,756	42,610	38,696	42,172	43,931	42,006	45,491	41,877
VYUŽITÍ ÚNOSNOSTI PRO 1. MENCLOVU MEZ [%]		71,80	54,50	77,50	58,50	82,70	74,80	92,90	70,40	97,80	74,50	102,10	630,3
MEZ ÚNOSNOSTI PRO 1. MENCLOVU MEZ q (kN m ⁻²)		139,28	183,49	129,03	170,94	120,92	133,69	107,64	142,05	102,25	134,23	97,94	78,30
MAXIMÁLNÍ PŘÍPUSTNÉ DEFORMACE OSTĚNÍ PRO 1. MENCLOVU MEZ													
BODY	osa	jednotkové	skutečné	jednotkové	skutečné	jednotkové	skutečné	jednotkové	skutečné	jednotkové	skutečné	jednotkové	skutečné
		[1]	(mm)	[1]	(mm)	[1]	(mm)	[1]	(mm)	[1]	(mm)	[1]	(mm)
8	X	0,009	1,24	0,009	1,15	0,009	1,07	0,009	0,93	0,009	0,88	0,008	0,87
	Y	-0,032	-4,42	-0,031	-4,05	-0,031	-3,76	-0,031	-3,29	-0,030	-3,10	-0,030	-3,08
15	X	0,009	1,20	0,008	1,09	0,008	0,99	0,008	0,84	0,008	0,78	0,007	0,76
	Y	-0,035	-4,93	-0,035	-4,53	-0,035	-4,22	-0,035	-3,72	-0,034	-3,52	-0,034	-3,51
20	X	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00
	Y	-0,055	-7,69	-0,054	-7,01	-0,054	-6,47	-0,052	-5,60	-0,051	-5,26	-0,051	-5,20

Stanovení mezní únosnosti ostění a následně mezní deformace v prvních 28 dnech je možné pouze se znalostí nárůstu pevnosti a modulu deformace stříkaného betonu v těchto dnech. Data za velmi dlouhé období (1990–2014) jsou uvedena v obr. 7, 8. Pro pevnost stříkaných betonů jsou proloženy dvě regresní křivky, nárůst od 6 do 360 minut (0,0041–0,25 dní) je výrazně jiný než v období 360 až 40320 minut (0,25–28 dní). Pro období 6 až 360 minut se navrhuje rovnice

$$f_{ck} = 0,0051x + 0,2389.$$

$$R^2 = 0,5416.$$

Pro období 360 až 40320 minut se navrhuje rovnice

$$f_{ck} = 4,3793 \ln(x) + 20,935.$$

$$R^2 = 0,4979.$$

Pro modul deformace je proložena jedna křivka a navrhuje se rovnice

¹ Prof. Ing. Juraj Mencl 18. 1. 1916–13. 2. 2005. V roce 1953 nastoupil na katedře dopravních staveb Fakulty inženýrského stavitelství SVŠT jako docent pro obor Tunely a mechanizácia staveb. Od roku 1962 působil na katedře zakladania staveb, geológie a priehrad (dnešní katedry geotechniky). V roce 1965 byl jmenován profesorem pro obor Teória a konštrukcie inženýrských staveb. Pracoval na významných úlohách zaměřených na výstavbu podzemních drah v Praze a Bratislavě, na výstavbě přečerpávacích vodních elektráren Čierny Váh a Dlouhé Stráně, na výstavbě Strahovského tunelu atd. Po listopadu 1989 se Prof. Mencl vrátil na katedru geotechniky jako emeritní profesor, kde byl jejím platným členem.

Krátká citace: ZAPLETAL, A., BUCEK, M., BARTÁK, J. Směrnice pro navrhování ostění budovaných NATM. Praha, 1992.

second Mencl limit. The resistance function $Q_{1(t)}$ corresponding to the zero load function $q_{1(t)} = 0$ and the resistance function $Q_{2(t)}$ corresponding to the load function $q_2(t)$, which keeps the lining constantly in the limit state, are of fundamental importance in the theory of the resistance capacity of the sprayed concrete lining resistance. In this case, apparently $q_{2(t)} = Q_{2(t)}$. First, the percentage utilization of the resistance is determined, and from there, the strength limit. From these calculations, the limit deformation for the unit load can be found, and by multiplying the unit deformations by the values of the strength limit, the maximum allowable deformations of the lining at the monitored nodes can be obtained [9].¹

The distribution of limit deformations for nodes 8, 15 and 20 of the lining is plotted in Fig. 9. The largest values of deformations are at node 20 (vault). The black line shows 60% of the limit state for node 20.

¹ Prof. Ing. Juraj Mencl 18/01/2016–13/02/2005. In 1953, he joined the Department of Transport Structures of the Faculty of Civil Engineering of the Slovak Academy of Sciences as an associate professor for Tunnels and Construction Mechanization. From 1962, he worked at the Department of Building Foundations, Geology and Dams (today's Department of Geotechnics). In 1965, he was appointed professor for the field of Theory and Construction of Engineering Structures. He worked on important tasks focused on the construction of underground railways in Prague and Bratislava, on the construction of the Čierny Váh and Dlouhé Stráně pumping station hydroelectric power plants, on the construction of the Strahov tunnel, etc. After November 1989, prof. Mencl returned to the Department of Geotechnics as Professor Emeritus, where he was a respected member.

Short citation: ZAPLETAL, A., BUCEK, M., BARTÁK, J. Guidelines for linings design constructed by NATM. Prague, 1992.

Tab. 2 Calculation of the Mencl's limit for 0,25; 0,5; 1; 5; 14 and 28 days

1. MENCL LIMIT		$k_{vp} = 50\text{MNm}^{-3}$		$p/q = 0,4$		with bolts		lining thickness 250mm					
DAYS		0.25	0.5	1	5	14	28						
f_{ck} (MPa)		4.946	7.994	11.042	18.118	22.646	25.693						
E_{cd} (GPa)		11.407	13.683	15.958	21.241	24.114	26.895						
Lining		abutment	vault	abutment	vault	abutment	vault	abutment	vault	abutment	vault	abutment	vault
Maximum static magnitudes	M (kNm)	87.174	54.030	94.526	58.179	101.069	62.103	114.126	70.514	120.347	74.763	125.939	78.704
	N (kN)	488.894	214.484	494.840	218.802	499.549	222.108	507.530	227.425	510.753	229.440	513.370	231.006
	V (kN)	35.176	43.238	37.059	42.882	38.756	42.610	38.696	42.172	43.931	42.006	45.491	41.877
PERCENTAGE UTILIZATION OF 1. MENCL LIMIT [%]		71.80	54.50	77.50	58.50	82.70	74.80	92.90	70.40	97.80	74.50	102.10	630.3
STRENGTH LIMIT OF 1. MENCL LIMIT q (kN m ⁻²)		139.28	183.49	129.03	170.94	120.92	133.69	107.64	142.05	102.25	134.23	97.94	78.30
MAXIMUM ALLOWABLE DEFORMATION OF LINING OF 1. MENCL LIMIT													
POINTS	axis	unit	actual	unit	actual	unit	actual	unit	actual	unit	actual	unit	actual
		[1]	(mm)	[1]	(mm)	[1]	(mm)	[1]	(mm)	[1]	(mm)	[1]	(mm)
8	X	0.009	1.24	0.009	1.15	0.009	1.07	0.009	0.93	0.009	0.88	0.008	0.87
	Y	-0.032	-4.42	-0.031	-4.05	-0.031	-3.76	-0.031	-3.29	-0.030	-3.10	-0.030	-3.08
15	X	0.009	1.20	0.008	1.09	0.008	0.99	0.008	0.84	0.008	0.78	0.007	0.76
	Y	-0.035	-4.93	-0.035	-4.53	-0.035	-4.22	-0.035	-3.72	-0.034	-3.52	-0.034	-3.51
20	X	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
	Y	-0.055	-7.69	-0.054	-7.01	-0.054	-6.47	-0.052	-5.60	-0.051	-5.26	-0.051	-5.20

$$E_{cd} = 3,2824 \ln(x) + 7,9132.$$

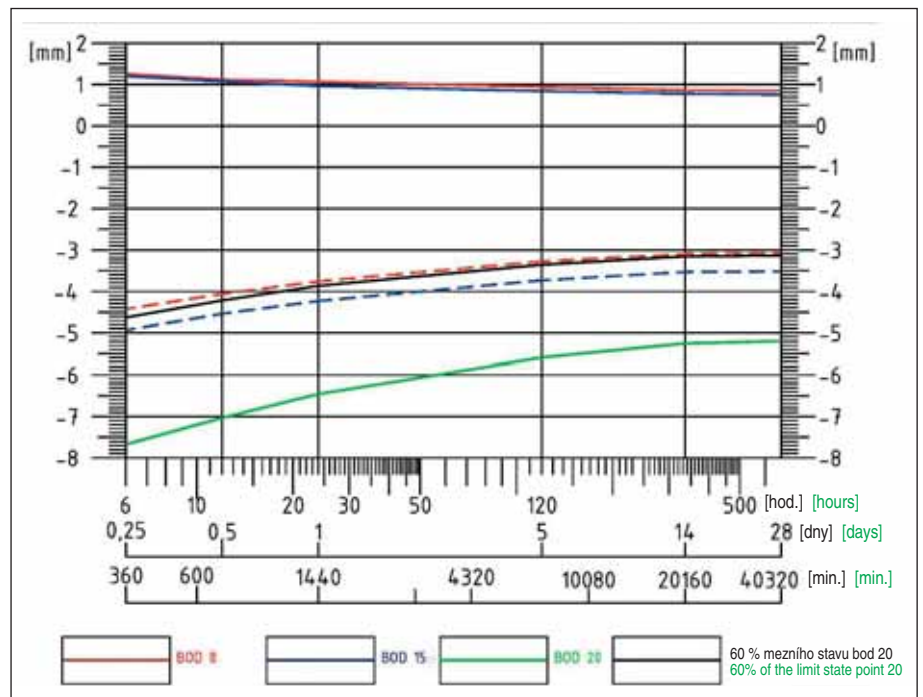
$$R^2 = 0,5545.$$

Výpočet tzv. Menclovy¹ meze [7] provedený pro 0,25; 0,5; 1; 5; 14; 28 dní pro proměnné f_{ck} a E_{cd} je proveden pro opěři a klenbu. První Menclova mez $Q_{1(t)}$ resp. $M_{1(t)}$ udává, jak velké zatížení by v čase t mohlo skokem dolehnout na dosud nezatíženou soustavu, aniž by únosnost ostění byla vyčerpána. Funkce $Q_{2(t)}$ je druhou Menclovou mezí. Zásadního významu v teorii únosnosti ostění ze stříkaného betonu nabývá funkce únosnosti $Q_{1(t)}$ příslušná k nulové funkci zatížení $q_{1(t)} = 0$ a funkce únosnosti $Q_{2(t)}$ korespondující s funkcí zatížení $q_{2(t)}$, která udržuje ostění neustále v mezním stavu únosnosti. V tomto případě zřejmě platí $q_{2(t)} = Q_{2(t)}$. Nejprve je stanoveno procentuální využití únosnosti a odtud pak mezní únosnost. Z těchto výpočtů se nalezne mezní deformace pro jednotkové zatížení a přenásobením jednotkových deformací hodnotami mezní únosnosti lze získat maximální přípustné deformace ostění ve sledovaných bodech [9].¹

Průběh mezních deformací pro body ostění 8, 15 a 20 je zakreslen na obr. 9. Největší hodnoty deformací jsou v bodu 20 (klenba). Černou čarou je zakresleno 60 % mezního stavu pro bod 20.

6. ZÁVĚR

Uvedený postup výpočtu mezní únosnosti a mezní deformace tunelového ostění popisuje rezervy v únosnosti ostění a rovněž



Obr. 9 Mezní deformace pro body 8, 15 a 20

Fig. 9 Limit deformations for nodes 8, 15 and 20

6. CONCLUSION

The presented procedure for calculating the ultimate resistance and the ultimate deformation of the tunnel lining describes the reserves in the resistance of the lining and also shows the place where the strength limit and the deformation limit will be reached first. In accordance with equations (7) and (8), the critical location of the lining is where the coefficient s_i is greater than 1. Practice

ukazuje místo, kde bude nejdříve dosaženo meze únosnosti a meze deformace. V souladu s rovnicemi (7) a (8) je kritické místo ostění tam, kde koeficient s_i je větší než 1. Praxe ukázala, že stanovení mezních deformací Δx a Δy v době tvrdnutí stříkaného betonu bylo velmi užitečné, projektant nemusí stanovovat mezní deformace podle své zkušenosti nebo odhadem.

Výpočet deformací terénu pro stanici metra Národní třída na trase IB (zahájení stavebních prací 1979, otevření provozu na konci roku 1985) prováděný metodou konečných prvků firmou PUDIS stanovil pokles terénu hodnotou 40 mm a skutečně naměřený pokles byl 150 mm. Výpočet deformací terénu nad raženými díly prováděný v sedmdesátých a osmdesátých letech minulého století MKP byl velmi drahý, časově náročný a jak ukazuje příklad stanice Národní třída velmi nepřesný. Provádět výpočty MKP pro šest časových intervalů bylo v té době nereálné, a dokonce provádění jen jednoho výpočtu bylo vzácné.

Pro návrh tunelového ostění projektant používá s ohledem na rozsah a důležitost úkolu výpočetní metodu, která je nejen bezpečná, ale i ekonomická. Navržený postup zjišťování mezních deformací a varovných stavů je v porovnání s 2D MKP výrazně rychlejší, výstupy výpočtů popisují širokou škálu okrajových podmínek. Tato skutečnost je vhodná pro ražená díla, kde liniové stavby procházejí nehomogenním prostředím. Metoda OPM je vhodná tam, kde projektant chce znát únosnost navrženého ostění v různých geologických podmínkách, popsaných geotechnickými parametry.

Je však potřeba vzít v úvahu skutečnost, že uvedená metoda vychází pouze z pružného chování horninového prostředí, přičemž obecně je chování horninového prostředí mnohem komplikovanější, stejně jako např. členění a postup ražeb. Chování horninového prostředí může být popsáno objektivněji variantními konstitutivními vztahy v rámci modelových výpočtů pomocí numerických metod, včetně metody konečných prvků.

Ing. JAROMÍR ZLÁMAL,
zlamal@pohl.cz, POHL cz, a.s.

Recenzoval Reviewed: doc. Dr. Ing. Jan Pruška

has shown that determining the limit deformations Δx and Δy during the hardening of the sprayed concrete was very useful, the designer does not need to determine the limit deformations according to his experience or estimate.

The calculation of surface deformations for the Národní třída metro station on route IB (start of construction work 1979, start of operation at the end of 1985) carried out using the finite element method by the PUDIS company established a terrain settlement of 40mm, and the actual measured settlement was 150mm. The calculation of surface deformations above the underground excavations carried out in the 1970s and 1980s by FEM was very expensive, time-consuming and, as the example of the Národní třída station showed, very inaccurate. Performing FEM calculations for 6 time intervals was unrealistic at the time, and even performing just one calculation was rare.

For the design of the tunnel lining, the designer uses a calculation method that is not only safe, but also economical, taking into account the scope and importance of the task. The proposed procedure for detecting limit deformations and warning levels is significantly faster compared to 2D FEM, the calculation outputs describe a wide range of boundary conditions. This method is suitable for underground excavations works, where linear structures pass through an inhomogeneous environment. The OPM method is suitable where the designer wants to know the resistance of the designed lining in various geological conditions, described by geotechnical parameters.

However, it is necessary to take into account the fact that the mentioned method is based only on the elastic behavior of the rock environment, while in general the behavior of the rock environment is much more complicated. The behavior of the rock environment can be described more objectively by variant constitutive relations within model calculations using numerical methods, including the finite element method.

Ing. JAROMÍR ZLÁMAL,
zlamal@pohl.cz, POHL cz, a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] ROZSYPAL, A. *Varovné stavy při monitoringu tunelu*. In: *Zakládání staveb Brno 2011: Možnosti snižování geotechnických rizik při výstavbě*. Brno: Česká geotechnická společnost Českého svazu stavebních inženýrů, 2011, s. 191–198. ISBN 978-80-86604-55-8.
- [2] ČECH, Z., MATĚJOVSKÝ, V. *PROS v.3 – výpočet ostění tunelu: Uživatelská dokumentace programu*. Praha: Metroprojekt, 1995.
- [3] FINE spol. s r.o. *Program Fin10: Beton 2D EC – verze 2.0.8.32*. Praha: 2007.
- [4] DUDDECK, H., ERDMANN, J. *On structural design models for tunnels in soft soil.: Underground space*. Vol. 9, Pergamon Press, Oxford, (1985) U. K., p. 246–259.
- [5] ZLÁMAL, J. První statické výpočty pro Novou rakouskou tunelovací metodu se zaměřením na polygonální metodu. *Tunel*, 2019, č. 2.
- [6] ZLÁMAL, J. *Analysis of the ultimate states of the underground tunnel lining: Proceedings of the World Tunnel Congress 2007*. London: Taylor & Francis Group, 2007. ISBN 9780429107238.
- [7] ZAPLETAL, A., BUCEK, M., BARTÁK, J. *Směrnice pro navrhování ostění budovaných NRTM*. Praha, 1992. & ZAPLETAL, A., BUCEK, M., BARTÁK, J. *Komentář ke směrnici pro navrhování ostění budovaných NRTM*. Praha, 1992.
- [8] ŠVEJDA, L., ZLÁMAL, J. Geostatická napjatost a změna modulu pružnosti spojitě nehomogenního kontinua ve výpočtech metodou konečných prvků. *Tunel*, 2000, č. 3.
- [9] ZLÁMAL, J. Evaluation Of The Tunnel Lining Bearing Capacity. In: *Transport And City Tunnels: Proceedings of the 11th International Conference Underground Constructions Prague 2010*. Prague: Czech Tunnelling Association ITA-AITES, s. 808–811. ISBN 978-80-254-7054-1.
- [10] ALDORF, J. *Mechanika podzemních konstrukcí*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 1999, 410 s., ISBN-80-7078-695-7.

FOTOREPORTÁŽ ZE ZAHÁJENÍ RAŽEB TUNELU FÁMJIN NA FAERSKÝCH OSTROVECH

PICTURE REPORT FROM GROUNDBREAKING CEREMONY OF FÁMJIN TUNNEL ON FAROE ISLANDS

FOTO JAN SKÁLA / PHOTO JAN SKÁLA



Obr. 1 Svěcení sošky sv. Barborky
Fig. 1 Consecration of St. Barbara statuette



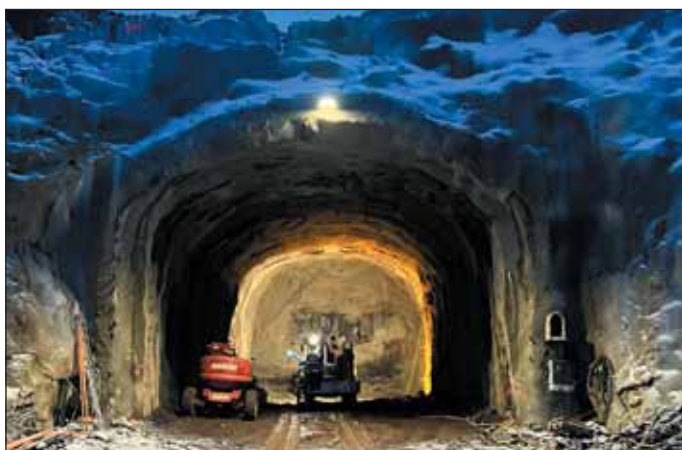
Obr. 2 Zástupci zhotovitele stavby před portálem tunelu Fámjin
Fig. 2 Representatives of the client and contractor in front of the Fámjin tunnel portal



Obr. 3 Portálová jáma tunelu Fámjin
Fig. 3 Portal pit of Fámjin tunnel



Obr. 4 Vrtací vůz na čelbě tunelu
Fig. 4 Drill rig at the tunnel heading



Obr. 5 Pohled na čelbu tunelu z portálu Ørðavík
Fig. 5 Tunnel heading viewed from the Ørðavík portal



Obr. 6 Scaling (strojní dočišťování výrubu) po provedení trhacích prací
Fig. 6 Mechanical scaling after completion of blasting

FOTOREPORTÁŽ Z AKTUÁLNÍHO STAVU VÝSTAVBY TUNELU POHŮRKA NA DÁLNICI D3 PICTURE REPORT FROM CURRENT STATE OF CONSTRUCTION OF POHŮRKA TUNNEL ON D3 MOTORWAY

FOTO ING. MARIAN FAKTOR, HOCHTIEF CZ, A. S. / PHOTO ING. MARIAN FAKTOR, HOCHTIEF CZ, A. S.



Obr. 1 Pražský portál a prostor Dobrovodské ulice, práce na monolitech a izolacích – pohled od jihu

Fig. 1 Prague portal and space of Dobrovodska street; work on monolithic structures and waterproofing – viewed from the south



Obr. 2 Armovací práce ve střední části tunelu – pohled od jihu

Fig. 2 Placement of reinforcement in the middle part of the tunnel – viewed from the south



Obr. 3 Monolitické práce na střední části tunelu – pohled od jihu

Fig. 3 Work on monolithic structures in the middle part of the tunnel – viewed from the south



Obr. 4 Monolitické práce na střední části tunelu – pohled od severu

Fig. 4 Work on monolithic structures in the middle part of the tunnel – viewed from the north



Obr. 5 Zemní práce na Kaplickém portále

Fig. 5 Earthwork at the Kaplice portal



Obr. 6 Pohled do nosné konstrukce tunelu

Fig. 6 A view into the load-bearing structure of the tunnel

PARTNEŘI / PARTNERS

Platinoví partneři / Platinum Partners



Zlatí partneři / Gold Partners



Sříbrní partneři / Silver Partners



Partner informačního systému /
Information System Partner



Partner posterové sekce /
Partner of the Poster Section



Partner elektronického sborníku příspěvků /
Electronic Book of Abstracts Partner



Partner internetového koutku /
Internet Corner Partner



Partner šňůrek ke jmenovkám /
Lanyards Partner





**Intelligentní stavění
spojuje lidi.**

- Komplexní služby ve stavebnictví
- Historie společnosti od roku 1869
- Hlavním portfoliem společnosti jsou inženýrské stavby a občanská vybavenost
- Mezinárodní zkušenosti
- Na českém trhu od roku 1991

Partner konference Podzemní stavby Praha 2023

PORR a.s.
Dubečská 3238/36, 100 00 Praha 10
tel.: 267 226 111
www.porr.cz

powered by **PORR**



Přejeme účastníkům,
aby jim konference
přinesla mnoho nových
informací, kontaktů
a zkušeností.

We wish each and every
participant a successful
but above all enjoyable
conference, that brings
a host of new experiences,
vital information
and useful contacts.

UNDERGROUND
CONSTRUCTION

MAY 29-31, 2023

PRAGUE

PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2023

15. MEZINÁRODNÍ KONFERENCE
15TH INTERNATIONAL CONFERENCE

PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2023 UNDERGROUND CONSTRUCTION PRAGUE 2023

29.–31. KVĚTNA 2023 / MAY 29–31, 2023
CLARION CONGRESS HOTEL PRAGUE

www.pspraha.cz | ps2023@guarant.cz



ČESKÁ TUNELÁŘSKÁ
ASOCIACE
ITA-AITES
CZECH TUNNELLING
ASSOCIATION
ITA-AITES





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



Work on Progress. Jsme motorem stavebnictví budoucnosti.



Společnost STRABAG a.s. člen skupiny STRABAG SE, patří k předním stavebním společnostem na českém trhu. Svou činností pokrýváme všechny obory stavebnictví od pozemního stavitelství, přes dopravní a mostní stavitelství až po speciální zakládání a podzemní stavby. Máme pobočky na celém území České republiky. Sázíme na nejnovější technologie a digitalizaci, která je pro nás synonymem transparentnosti.

Věříme, že klíčovým faktorem úspěchu je vysoká profesionalita našich pracovníků, jejich nadšení pro společný cíl a schopnost spolupráce. S odhodláním a přesvědčením pracujeme na budování udržitelnější budoucnosti.

www.strabag.cz

STRABAG
WORK ON PROGRESS



Požární bezpečnost tunelů

Protipožární obklady
železobetonových
konstrukcí tunelů



Protipožární nástřiky
železobetonových
konstrukcí tunelů



Ochrana kabelových
tras - zajištění funkce
při požáru v tunelu



Protipožární těsnění
prostupů kabelů
a potrubí, těsnění spár



Zařízení pro odvod tepla
a kouře, vzduchotechnika
s požární odolností



GEOtest



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

www.geotest.cz



Diagnostika a monitoring
stavebních konstrukcí
Geotechnické a hydrogeologické práce

Geologický a geofyzikální průzkum
Monitoring životního prostředí
Geodetické a inženýrské práce



ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB THE WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

VÝSTAVBA TUNELŮ NA RYCHLOSTNÍ SILNICI M85 V. BÉCSI DOMB, MAĎARSKO
DEVELOPMENT OF TUNNELS ON M85 MOTORWAY V BÉCSI DOMB, HUNGARY

V severozápadní části Maďarska, směrem k rakouským hranicím a hlavnímu městu Rakouska Vídní se u města Šoproň staví v rámci páté etapy dva tubusy dvoupruhových dálničních tunelů, každý o délce cca 780 m.

Dodavatelem těchto tunelů je sdružení firem Subterra – Raab Kft, Dömper Kft a Pannon Doprastav Kft (SDD Konsorcium).

Realizace výstavby tunelu pod kopcem Bécsi domb (Vídeňský kopec) v Šoproni dospěla k dalšímu milníku. Ve čtvrtek 9. února 2023 byl slavnostně prorážen severní tubus tunelu.

Slavnostní prorážky se zúčastnili mj. náměstek ministra pro investice do výstavby silnic p. Jozsef Pántya, poslanec parlamentu za město Šoproň p. Attila Barcza a starosta Šoproně p. dr. Ciprian Farkaz.

Poté, co byl 30. června 2022 prorážen jižní tubus, jsou tak prakticky po téměř dvou letech ukončeny ražby tohoto tunelu. Během konce února 2023 bude ještě provedena ražba nouzové propojky č. 2 mezi tunelovými tubusy. Podmínky pro ražbu obou tubusů byly místně rozdílné, průměrný denní postup ražeb na jižním tubusu byl tak 1,3 m a na severním tubusu 1 m.

Ražba severního tubusu probíhala v posledních měsících jak ze západního, tak i z východního portálu tunelu. Ze západního portálu byla ukončena v TM 595, tedy cca 180 m od tohoto portálu. Pokračovala tak jenom ražba z východního portálu. Zbývající metry horninového masivu do prorážky byly zajištěny jak 12 m dlouhým mikropilotovým deštníkem, tak i 9 ks 12 m dlouhých čelbových kotev a stříkaným betonem. Vlastní prorážka byla provedena bez použití trhacích prací pomocí strojního rozpojování horniny.



Obr. 1 Pohled od východního portálu na severní tubus
Fig. 1 The northern tube viewed from the eastern portal



Obr. 2 Okamžik strojní prorážky severního tubusu tunelu
Fig. 2 Moment of mechanical breakthrough of the northern tube of the tunnel

In the northwestern part of Hungary, towards the Austrian border and the Austrian capital Vienna, two tubes of double-lane motorway tunnels, each approximately 780m long, are being built near the town of Sopron as part of the fifth construction stage.

The contractor for these tunnels is the consortium of companies Subterra – Raab Kft, Dömper Kft and Pannon Doprastav Kft (SDD Consortium).

The work on the construction of the tunnel under the Bécsi domb hill (Vienna hill) in Sopron has reached another milestone. On Thursday, February 9, 2023, the northern tube of the tunnel was ceremonially broken through.

The groundbreaking ceremony was attended, among others, by the Deputy Minister for Investments in Road Construction, Mr. Jozsef Pántya, the Member of Parliament for the town of Sopron, Mr. Attila Barcza, and the Mayor of Sopron, Dr. Ciprian Farkaz.

After the southern tube of the tunnel was broken through on June 30, 2022, the excavation of this tunnel is practically completed, after almost two years. During the end of February 2023, excavation of the emergency cross passage No. 2 between the tunnel tubes will be carried out. The conditions for the excavation of both tubes locally differed, the average daily excavation advance on the southern tube was 1.3m and on the northern tube 1m.

Excavation of the northern tube has proceeded in recent months from both the western and the eastern portal of the tunnel. From the western portal, it ended at the tunnel chainage TM 595, i.e. approximately 180m from this portal. It means that only the excavation from the eastern portal continued. The metres of the rock massif remaining to the breakthrough were stabilised with both a 12m long canopy tube pre-support, as well as 9 pcs of 12m long anchors into the excavation face and shotcrete. The breakthrough itself was carried out without the use of blasting by means of mechanical breaking of the rock.

Pokračují dále práce na fóliových izolacích a betonáži sekundárního ostění tunelů.

Stavba tohoto úseku dálnice tak dospěla do další fáze, která by měla být ukončena uskutečněním zkušebního provozu tunelu a předáním provizorního propojení úseku silnice pro motorová vozidla M85 dopravní uzel Fertőrákos – Sopron st. hranice se stávajícím hraničním přechodem na hlavní silnici č. 84, jakož i obchvatu Šopron SZ s označením 8647, vše s uvedením do provozu na konci roku 2024.

Ing. FRANTL JAN, jfrantl@subterra.cz,
Ing. BÖLCSKEI GERGELY,
Gergely.Bolcskei@subterraraab.hu

Work continues on the membrane waterproofing and concreting of the secondary lining of the tunnels.

The construction of this motorway section has thus reached the next phase, which should be completed by the trial running of the tunnel and the handing over of the temporary connection of the section of the M85 motor vehicle road to the Fertőrákos junction – Sopron state border with the existing border crossing on the main road No. 84, as well as the Sopron NW bypass with the designation 8647, all with opening to traffic at the end of 2024.

Ing. FRANTL JAN, jfrantl@subterra.cz,
Ing. BÖLCSKEI GERGELY,
Gergely.Bolcskei@subterraraab.hu

ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ

NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCES

TUNELÁŘSKÉ ODPOLEDNE 4/2022 TUNNEL AFTERNOON 4/2022

On November 2, the fourth Tunnel Afternoon of the year 2022 was held in the premises of the Metrostav Group Education Centre. It was not for the first time that the chosen topic was devoted to past times. Mr. Ladislav Lahoda guided the listeners through the *Historic underground in the footsteps of the former state-run secret police (STB)*. This time the seminar passed perhaps a little unusually. The lecturer presented a large number of photographs from various locations, to which he attractively narrated, sharing a lot of information, observations, historical facts and rumors that accompany the given places. His company CMA – the company for the research of the historic underground thoroughly went through the described places as part of its surveys and tried to confirm or refuse some assumptions and get to the roots of individual mysteries. His very attractive narration captivated the listeners so much that many of them had the feeling that they were present in the individual places themselves.

Dne 2. listopadu se v prostorách Centra vzdělávání Skupiny Metrostav uskutečnilo čtvrté Tunelářské odpoledne roku 2022. Zvolené téma se věnovalo již po několikáté minulým časům, *Historickým podzemím po stopách STB* provedl posluchače tradičně pan Ladislav Lahoda. Tentokrát seminář proběhl možná trochu nezvykle, přednášející promítl velké množství fotografií z různých lokalit, ke kterým poutavě vyprávěl spousty informací, postřehů, historických faktů i pověstí, které daná místa provázejí. Jeho společnost CMA – společnost pro výzkum historického podzemí tato popisovaná místa v rámci svých průzkumů důkladně prošla a zkusila některé domněnky potvrdit, nebo vyvrátit a dopátrat se až ke kořenům jednotlivých záhad. Jeho velice poutavé vyprávění posluchače natolik zaujalo, že mnozí měli pocit, že se na jednotlivých místech sami nacházejí.

Vydali jsme se do tajemných a donedávna neprozkoumaných katakomb v Jablonném v Podještědí a také do podzemí hradu Lemberk, kde společnost CMA prováděla téměř detektivní pátrání po

stopách tzv. akce „Kostel“, při které zde v 80. letech STB hledala ukryté nacistické archivy a poklady řádu dominikánů. Podařilo se objasnit všechna místní tajemství i ta, která STB vypátrat nesvedla. Měli jsme možnost na fotografiích spatřit místa, která jsou obvykle veřejnosti uzavřená a nyní vlastně již nepřístupná, kvůli probíhající rekonstrukci chrámu.

Druhá část se věnovala příběhu z Chotěšovského kláštera, který byl objevený v archivech bezpečnosti teprve nedávno. Vše začíná hned po válce, kdy je do místní psychiatrické nemocnice odvezena matkou představenou jedna z řádových sester. V podstatě proto, že chtěla československým úřadům prozradit místa uložení cenných předmětů a klášterního pokladu. V tajných komnatách, v zamaskované studni v podzemí kláštera a dalších skrýších... Existují tato místa i dnes? Byl poklad někdy někým objeven? Jaké byly další osudy sester? I tomuto věnovali lidé ze společnosti CMA při provedeném průzkumu svou pozornost.

Třetí část semináře se zabývala Rudolfovou štolou v Praze neboli „Průkop Jeho Veličenstva Císaře z řeky Vltavy do Starého parku v celé své velikosti“, která stále ještě skrývá neobjasněná tajemství. Jedno z nich je například to, kdo je autorem jejího projektu, což není z historických materiálů zcela jasné. Na závěr ještě přednášející ukázal pár míst nejen z Prahy, která jsou málokdy přístupná veřejnosti a která navštívil v rámci dvouletého natáčení dokumentárního seriálu Tajemné podzemí.

O seminář byl opět velký zájem, osobně přišlo okolo 40 posluchačů, dalších téměř 20 zvolilo on-line připojení. Pokud by se chtěl někdo dovědět více o společnosti CMA, může navštívit její webovou stránku www.podzemi-cma.cz. Velké poděkování patří přednášejícímu panu Lahodovi a také doc. Ing. Alexandru Butovičovi, Ph.D., který pomohl celé Tunelářské odpoledne zorganizovat.

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

KONFERENCE ŽELEZNIČNÍ MOSTY A TUNELY 2023 CONFERENCE RAILWAY BRIDGES AND TUNNELS 2023

The conference on the topic of railway bridges and tunnels was held on January 19, 2023. The specialist block of lectures was divided into two main topics, as the name of the conference already

suggests. In this contribution, attention will be focused only on tunnels. In the first block, the project and work on of the reconstruction of the track section Děčín East – Děčín – Middle Žleb was present-

ed. It includes a new unique truss railway bridge over the Elbe, and the Děčín tunnel directly connected to it, which almost intersects with the Loub railway tunnel at the lowest level. A significant event in the field of rehabilitation of railway tunnels was the reconstruction of the railway corridor line from Brno to Blansko, where there are nine railway tunnels in operation, which had to be reconstructed in a one-year closure of the line to traffic. The history of these tunnels is very chequered; they belong among the oldest tunnels in the Czech Republic. They were mined in the 1950s and underwent several renovations and repairs during their existence. Another data retrieving lecture informed the present tunnellers about the state of the existing railway tunnels, evaluated some of the renovations that have already been carried out and predicted what the tunnellers can expect in the near future. The contribution on the topic of renovation of the Bratislava (Lamačský) tunnel near the main railway station describes the several reconstructions currently underway, during which the decades-old technology of filling and sealing grouting behind the masonry lining is used to prevent groundwater seepage; however, this technology has recently been more or less backed off due to low effectiveness and short longevity. The complete volume of lectures is free to download in PDF format on the website <https://konferencemosty.cz/docs/sborniky/2023.sbornik-zmt.pdf>.

Dne 19. 1. 2023 se konala obvyklá konference na téma železničních mostů a tunelů, již podruhé v hale O2 UNIVERSUM, která nahradila dříve využívané prostory v hotelu Olšanka. Zejména společenské prostory mimo hlavní sál jsou v novém místě konání mnohem komfortnější. Jak je všeobecně známo, společenská, neformální, ale i obchodní setkání odborné veřejnosti na těchto akcích jsou neméně důležitá jako odborné přednášky a prezentace. Zejména po dvou letech omezování podobných aktivit kvůli covidové hysterii. Takže účast byla opravdu veliká. Drobnou nevýhodou měl jeden z nejmenovaných hlavních organizátorů, jak bylo na konferenci také zmíněno, který mohl do Olšanky chodit „v pantoflích“, což by pro něj v případě haly O2 UNIVERSUM nebylo úplně optimální.

Odborný blok přednášek byl rozdělen na dvě hlavní témata, jak už název konference napovídá. V dalším textu se budu věnovat pouze tunelům, kterým je náš časopis nejbližší. V prvním bloku věnovaném železničním mostům se však obě témata již prolínala, zejména při prezentaci projektu a realizace stavby rekonstrukce traťového úseku Děčín východ – Děčín – Prostřední Žleb, jehož součástí je jednak nový unikátní příhradový železniční most přes Labe, a jednak na něj přímo navazující Děčínský tunel, který se téměř křížuje s Loubským železničním tunelem v nejnižší etáži. Původně předpokládaná a relativně triviální sanace a utěsnění ostění Děčínského tunelu proti vodě nakonec vyústila do výměny klenby tunelu v délce cca 140 m v otevřené stavební jámě při ponechání původních tunelových opěr. Opět se potvrdila známá skutečnost, že důkladné a podrobné průzkumy, geotechnické i stavebnětechnické, a to již v raných fázích projektování, nejlépe již při investičním záměru, jsou naprostou nezbytností a bohatě se vyplatí na nich nešetřit. Jakékoliv zde ušetřené finanční prostředky, určené na průzkumy již v počátečních fázích projektování, jsou pak obvykle jen nepatrným zlomkem toho, kolik mohou stát dodatečné sanační práce, změny projektu, prodlužování výluk apod. Tento projekt byl podrobně prezentován v několika přednáškách ze strany všech účastníků – investora, projektanta i zhotovitele.

Asi největší akce v oblasti sanací železničních tunelů za posledních x let byla v loňském roce rekonstrukce koridorové tratě z Brna do Blanska, kde se nachází devět provozovaných železničních tunelů, které musely být v jednoroční výluce rekonstruovány.

Historie těchto tunelů je velmi pestrá, jsou jedny z nejstarších tunelů v ČR, vyraženy byly v padesátých letech devatenáctého století a prošly za dobu své existence několika sanacemi či opravami. Původně bylo na této trati tunelů dvanáct, označených pouze čísly. V sedmdesátých a osmdesátých letech dvacátého století byly tunely č. 5, 6, 11 a 12 sneseny a vzniknuvší vysoké skalní svahy byly zajištěny tehdejší technologickou novinkou – stříkaným betonem. Z hlediska estetiky a dnešních zvyklostí zakomponování staveb do přírody a terénu – hrůza a děs.

Dříve provedené sanace zbylých tunelů představovaly rovněž velmi pestrou mozaiku stavebních technologií, bohužel ve většině případů nepříliš úspěšných sanací. Poslední sanace proběhly u některých tunelů v rámci modernizace 1. koridoru v polovině devadesátých let minulého století.

Dnes, po cca 25 letech je nutné sanovat znovu a prakticky totéž. Původní kamenné pískovcové a žulové zdivo ostění a portálů všech tunelů podstoupilo následující sanační „kúry“ – spárování, injektáže, přestříkání betonem, vybourání a nahrazení někde litým betonem, někde stříkaným betonem a někde přezděním betonovými tvánicemi. Původní portály byly u většiny tunelů zbourány a tunely prodlouženy monolitickými úseky, které eliminovaly dříve časté padání kamenů do tratě. V drtivé většině všech tunelů byla hlavním problémem prosakující voda do dopravního prostoru, ledování a rampouchy. Použité sanační technologie, např. kotvená fóliová izolace s tvrdou ochranou ze stříkaného betonu v tl. 100–120 mm, použitá poprvé v ČR, si může čtenář najít ve sborníku, který je volně ke stažení pod odkazem v závěru tohoto článku.

Nejradikálnější sanační kúrou pak prošel nejmladší tunel, označený č. 8/2, dokončený v roce 1990 Vojenskými stavbami, které jako jednoplášťové ostění použily litinové a železobetonové tubingy typu Leningrad a Moskva, používané v té době jako ostění kruhových staničních ražených tunelů metra v Praze. Toto ostění se vybouralo a nahradilo klasickým dvouplášťovým ostěním s mezilehlou drenážní izolací podkovovitého tvaru. Během přerážení tohoto tunelu došlo k havárii (prasknutí litinového potrubí DN 600) Březovského vodovodu z roku 1912, který vede nad tímto tunelem. Došlo k částečnému zaplavení tunelu, ale bez poškození jak zbývajících tubingového ostění, tak i nového primárního ostění. Jako další zajímavost lze uvést, že ze stejné doby a stejným ostěním jsou vystrojeny i Vinohradské tunely č. IIIa a IIIb v Praze u hlavního nádraží, které vykazují obdobné poruchy – zkorodované spojovací šrouby a značné průsaky podzemní vody spárami mezi tubingy.

Rešeršní přednáška Ing. Hany Ponczové seznámila nás, přítomné tuneláře, se stavem stávajících železničních tunelů, vyhodnotila některé již provedené sanace a predikovala, co nás tuneláře v blízké budoucnosti očekává. Příspěvek o sanaci Bratislavského (Lamačského) tunelu u hlavního nádraží popisuje současně probíhající již několikátou rekonstrukci, při které se pro zamezení průsaků podzemní vody používá již desítky let stará technologie výplňových a těsnících injektáží za rubem zděného ostění, od které se v poslední době pro nízkou efektivitu a životnost více či méně ustupuje. Uvedená metoda se v případě tohoto tunelu používá v kombinaci se spárováním a lícovou nástříkovou izolační membránou nad trolejí. Sanace probíhá, čas ukáže její úspěšnost.

Kompletní sborník přednášek je volně ke stažení ve formátu PDF na stránkách <https://konferencemosty.cz/docs/sborniky/2023.sbornik-zmt.pdf>.

Ing. VLASTIMIL HORÁK,
AMBERG Engineering Brno, a.s.

AKTUALITY Z PODZEMNÍCH STAVEB V ČESKÉ A SLOVENSKÉ REPUBLICĚ CURRENT NEWS IN UNDERGROUND CONSTRUCTION IN THE CZECH REPUBLIC AND SLOVAK REPUBLIC

ČESKÁ REPUBLIKA

METRO D – NOVÁ LINKA PRAŽSKÉHO METRA

V dubnu 2023 to bude již rok, co byly zahájeny práce na realizaci prvního úseku výstavby nové trasy metra I.D, který obsahuje dvě ražené stanice Pankrác a Olbrachtova, dále ražený tunelový mezi-staniční úsek a ražený propojovací tunel s trasou C.

V popisu projektu stojí, že ražená stanice Pankrác je jednodílná, přestupní a je hluboká 33 m, že dvoudílná ražená stanice Olbrachtova je vedena atypicky v oblouku a je hluboká 30,6 m, že traťový mezistaniční úsek mezi oběma stanicemi je veden v kombinaci jednokolejných a dvoukolejných traťových tunelů v celkové délce cca 1000 m, a že tunelová propojka mezi již provozovanou trasou C a dnes budovanou trasou D má délku 976 m.

Na Pankrácké pláni a jejím nejbližším okolí je v současné době již velmi dobře pozorovatelný poměrně masivní rozvoj vlastní stavby, kde četné zábory ploch primárně slouží jako zařízení staveniště



Obr. 1 Ražba rozrážky do vzduchotechnických tunelů stanice Pankrác
Fig. 1 Excavation of a tunnel eye to Pankrác station ventilation tunnels



Obr. 2 Ražba patní štoly stanice Pankrác
Fig. 2 Excavation of Pankrác station bottom gallery

THE CZECH REPUBLIC

METRO D – NEW LINE OF PRAGUE METRO

In April 2023, it will already be a year since work began on the construction of the first section of the new metro line ID, which includes two mined stations Pankrác and Olbrachtova, as well as a mined interstation tunnel section and a mined tunnel connecting Line D with Line C.

It is stated in the project description that the Pankrác mined station is a single-vault, interchange station and is 33m deep, that the two-bay mined Olbrachtova station runs atypically on a curve and is 30.6m deep, that the interstation running tunnel section between the two stations is led on a combination of single-track and double-track running tunnels with a total length of approximately 1000m, and that the tunnel crossover between the already operating Line C and the currently under construction Line D has a length of 976m.

On the Pankrác Plain and in its immediate surroundings, a relatively massive development of the construction project itself can already be very well observed, where numerous land use for construction cases primarily serve as construction site facilities and secondarily as support for the already less visible, but at the same time, decisive activity underground, i.e. the underground excavation itself.

As of February of this year, excavation of tunnels to the Pankrác station is proceeding in two basic directions. In the direction from the city centre, excavation of access galleries with a length of 174m has already been finished, and excavation of the first tens of metres of the station's ventilation tunnels has subsequently started (Fig. 1). From the opposite direction and in the continuation of the interstation section, the excavation of the station bottom gallery itself was started, of which approximately 100m were completed by the beginning of February (Fig. 2).

The excavation of about 230m of the running tunnels connecting the two stations has been finished, as well as about 35m of the ventilation plant room located halfway between them.

In addition to and in parallel with all the work being carried out, condition survey of all buildings in the affected zone is also ongoing, as well as monitoring of all construction sections, including the affected part of the operating metro Line C.

The important thing is that there are also other sections, i.e. the remaining sections of metro Line D, in preparation for future construction. This is evidenced by the fact that at the end of 2022, tenders were submitted by contractors for the construction of the section Olbrachtova (except for) – Nové Dvory, including running tunnels from Písnice, which the contracting authority is now assessing. The objective is to start the work on this section in the fall of 2023 so that it can be completed and put into operation in 2029, together with the Pankrác – Olbrachtova section, which is already under construction. The good news is also the fact that the connecting section Pankrác – Náměstí míru towards the city centre, where the designer is currently preparing the design and tender documents for the contracting authority, is not being forgotten either. In conclusion and in accordance with the above,

a sekundárně jako podpora pro již méně viditelnou, ale přitom rozhodující činnost v podzemí, tedy vlastní ražbu.

K únoru letošního roku jsou ražby do stanice Pankrác vedeny dvěma základními směry. Ve směru od centra města již byly vyraženy přístupové štoly v délce 174 m a následně zahájeny ražby prvních desítek metrů vzduchotechnických tunelů stanice (obr. 1). Z opačného směru a v pokračování mezistaničního úseku byla zahájena ražba patní štoly vlastní stanice, z které je k začátku února hotovo cca 100 m (obr. 2).

Z traťových tunelů spojujících obě stanice bylo vyraženo cca 230 m a v půlce mezi nimi situované strojovny vzduchotechniky cca 35 m.

Vedle a v souběhu všech prováděných prací také probíhá kontinuálně pasportizace všech objektů v zóně ovlivnění a také monitoring všech stavebních oddílů včetně dotčené části provozované trasy metra C.

Důležité je, že v přípravě pro budoucí realizaci jsou i další, tedy zbývající úseky linky metra D. Dokladem toho je, že koncem roku 2022 byly podány nabídky zhotovitelů na realizaci úseku Olbrachtova (mimo) – Nové Dvory vč. traťových tunelů z Písnice, které nyní zadavatel hodnotí. Cílem je zahájit realizaci tohoto úseku na podzim roku 2023 tak, aby mohl být dokončen a uveden do provozu společně s již dnes realizovaným úsekem Pankrác – Olbrachtova, a to v roce 2029.

Dobrou zprávou je také to, že se nezapomíná ani na navazující úsek Pankrác – Náměstí míru směrem do centra města, kde v současné době projektant pro zadavatele již připravuje projektovou a soutěžní zadávací dokumentaci.

V závěru a v souladu s výše uvedeným můžeme tedy i dnes konstatovat, že výstavba projektu Metra D je stále v kondici a jde ve správném čase správným směrem. Zdali si to takto budeme moci říct i příště, a to zejména s ohledem na vývoj soutěže dalšího úseku, uvidíme.

Ani tak ovšem nic nebrání popřát a zvolat projektu Metro D jako již tradičně, zdař bůh!

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

we can state that the development of the Metro D project is still in good shape and is moving in the right direction at the right time. We'll see if we'll be able to say it like that next time, especially with regard to the development of the competition for the next section.

Even so, nothing prevents us from wishing and cheering for the Metro D project, as is traditionally the case, God Speed You!

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

SINGLE-TRACK BLANENSKÝ (BLANSKO) TUNNEL NO. 8/2, REGISTRATION NO. 226

As part of the “Adamov – Blansko, BC” construction, which began in September 2021, the reconstruction of the “new” tunnel under Nový Hrad (originally put into operation in 1992) was carried out, among other things. It involved the re-excavation of a single-track railway tunnel with a total length of approximately 560m. The mined part of the tunnel is approximately 546m long. The reconstruction consisted in the gradual removal of the existing reinforced concrete segmental lining, the expansion of the profile and the construction of a new double-shell lining with inserted intermediate waterproofing membrane.

The tunnel was structurally completed by October 31, 2022, and after the installation of the trackwork and the overhead catenary, traffic was ceremoniously resumed on the entire modernised section Brno – Blansko on December 11, 2022. A separate paper in the *Tunel* journal No. 2/2023 will be dedicated to the reconstruction of the Blanenský tunnel No. 8/2. Fig. 3 shows the Adamov portals of tunnel No. 8/2 and the neighbouring tunnel No. 8/1 after reconstruction. Unfortunately, the rule has been confirmed that after the contractor leaves the construction site, an uninvited “artist” appears and damages someone else’s work with meaningless scribbles.

A commemorative medal was minted on the occasion of the completion of the reconstruction of tunnel No. 8/2. It is shown in



Obr. 3 Jednokolejný tunel Blanenský č. 8/2

Fig. 3 Single-track Blanenský (Blansko) tunnel No. 8/2

JEDNOKOLEJNÝ TUNEL BLANENSKÝ Č. 8/2 S EVIDENČNÍM ČÍSLEM 226

V rámci stavby „Adamov – Blansko, BC“, která byla zahájena v září roku 2021, byla mimo jiné provedena i rekonstrukce „nového“ tunelu pod Novým Hradem (původně uveden do provozu v roce 1992). Jednalo se o přeražbu jednokolejného železničního tunelu celkové délky cca 560 m, z toho ražená část má délku cca 546 m. Rekonstrukce spočívala v postupném odstranění stávajícího železobetonového segmentového ostění, rozšíření profilu a vybudování nového dvouplášťového ostění s vloženou mezilehlou izolací.

Tunel byl stavebně dokončen do 31. října 2022 a po instalaci kolejového svršku a trakčního vedení byl 11. prosince 2022 slavnostně obnoven provoz na celém modernizovaném úseku Brno – Blansko. Rekonstrukci tunelu Blanenský č. 8/2 bude věnován samostatný článek v časopisu Tunel č. 2/2023. Obr. 3 zachycuje pohled na adamovské portály tunelu č. 8/2 a sousedního tunelu č. 8/1 po rekonstrukci. Bohužel se potvrdilo pravidlo, že poté, co zhotovitel opustí staveniště, se objeví nezvaný „umělec“, který poníčí cizí věc nesmyslnou čmáranicí.

U příležitosti dokončení přestavby tunelu č. 8/2 byla vyražena pamětní medaile, která je zobrazena na obr. 4. Na lícové straně medaile je v levé polovině znázorněno ostění původního tunelu, na pravé pak ostění po rekonstrukci včetně letopočtů uvedení do provozu obou etap.

Grafický návrh:	Tomáš Just, Jiří Umlauf
Výroba:	Halen s.r.o., Zlatohorská mincovna
Materiál:	patinovaná mosaz
Parametry:	Ø 68 mm, hmotnost 66 g
Vyraženo:	120 ks

Ing. Tomáš Just, OHLA ŽS, a.s.

SLOVENSKÁ REPUBLIKA TUNELY NA DIAĽNIČNEJ SIETI

Tunel Bikoš

Práce na stavbě úseku rychlostnej cesty R4 Prešov, severný obchvat, I. etapa pokračujú v súlade so zmluvným harmonogramom.



Obr. 5 Pohľad do tunelovej rúry tunela Bikoš
Fig. 5 View down the Bikoš tunnel tube



Obr. 4 Avers a revers pamětní medaile
Fig. 4 Obverse and reverse of the commemorative medal

Fig. 4. On the obverse side of the medal, the lining of the original tunnel is shown in the left half, and the lining after the reconstruction is shown on the right, including the dates of commissioning of both construction stages.

Graphical design:	Tomáš Just, Jiří Umlauf
Production:	Halen s.r.o., Zlatohorská mint
Material:	patinated brass
Parameters:	Ø 68mm, weight 66g
Minted:	120 pieces

Ing. Tomáš Just, OHLA ŽS, a.s.

SLOVAK REPUBLIC TUNNELS ON MOTORWAY NETWORK

Bikoš tunnel

Work on the construction of the northern bypass, stage I, section of the R4 Prešov fast highway, continues in accordance with the contractual schedule. Motorists will be able to start using this part of the fast highway bypass of the regional city of Prešov, which includes the 1155m long Bikoš double-tube tunnel, in July of this year. The contractor for this construction is the consortium of companies Váhostav-SK, a.s. and TuCon, a.s. (Fig. 5).

The work on the structural part of the Bikoš tunnel is almost finished, the terrain finishes at the portals and operational-technical objects are still being completed. Work continues on the mechanical and electrical fitting-out of the tunnel, including the installation of lighting, the laying of cables and energy supply equipment.

Motorists will have to wait a few more years for the second part of the bypass on the R4, which will include the Okruhliak tunnel. Its construction should take more than four years, the estimated value is 263 million euros without VAT. The current deadline for submitting offers and opening them in the tender is March 1, 2023, the original deadline of May 25, 2022 has already been postponed six times.

Čebrať tunnel

Excavation of the Čebrať tunnel is slowly becoming a thing of the past. The southern tunnel tube was broken through on November 15, 2022, and to date, the excavation is finished, including the bench and invert. In the northern tube, the last 4 metres remain until the breakthrough in the top heading.

In the southern tunnel tube, the work of the miners is currently focused on the reconstruction of the emergency lay-by No. 1 (Fig. 6), which needs to be reconstructed in the entire length of 50m due to deformations of the profile in the past. The construction

Túto časť rýchlostného obchvatu krajského mesta Prešov, ktorej súčasťou je dvojrúrový tunel Bikoš dĺžky 1155 m, budú môcť motoristi začať používať v júli tohto roka. Zhotoviteľom stavby je združenie spoločností Váhostav-SK, a.s. a TuCon, a.s. (obr. 5).

Práce na stavebnej časti tunela Bikoš sú už takmer ukončené, prebieha ešte dokončovanie terénnych úprav na portáloch a prevádzkovo-technických objektov. Pokračujú práce na technologickom vybavení tunela zahrňujúce montáž osvetlenia, pokládku káblov a zariadení energetického napájania.

Na druhú časť obchvatu na R4, ktorej súčasťou bude tunel Okruhliak, si motoristi budú musieť počkať ešte niekoľko rokov. Jeho výstavba by mala trvať viac ako štyri roky, odhadovaná hodnota je 263 miliónov eur bez DPH. Aktuálna lehota na predkladanie a otváranie ponúk v tendri je 1. marca 2023, pôvodný termín 25. mája 2022 bol už šesťkrát posunutý.



Obr. 6 Rekonštrukcia zálivu č. 1 v južnej rúre tunela Čebrať
Fig. 6 Reconstruction of lay-by No. 1 in Čebrať tunnel southern tube

Tunel Čebrať

Razenie tunela Čebrať sa stáva pomaly minulosťou. Južná tunelová rúra bola prerazená 15. novembra 2022 a k dnešnému dňu je razenie ukončené vrátane stupňa a protiklenby. V severnej rúre chýbajú do prerazenia v kalote posledné 4 metre.

V južnej tunelovej rúre sú práce razičov momentálne zamerané na rekonštrukciu núdzového zálivu č. 1 (obr. 6), ktorý je potrebné z dôvodu prebehnutých deformácií profilu v minulosti zrekonštruovať v celej dĺžke 50 m. Realizácia sekundárneho ostenia v južnej rúre je už naplno rozvinutá. Zo základových konštrukcií ostáva z celého tunela zhotoviť 36 protiklenieb (obr. 7). Betonáž horných klenieb je realizovaná dvomi zostavami debniacich vozíkov a k dnešnému dňu je vybetónovaných 74 horných klenieb.

V severnej tunelovej rúre je predpoklad ukončenia raziacich prác do konca februára 2023. Práce na sekundárnom ostení sú tiež rozbehnuté v plnom rozsahu, hoci k dnešnému dňu majú oproti južnej rúre viac ako mesačný sklz. Základové konštrukcie – protiklenby – sa dnes budujú pri priečnom prepojení č. 7, čo znamená, že už sú za polovicou tunela. Horné klenby v severnej rúre sú betónované takisto dvomi betónovacími zostavami a dnes je vybetónovaných 40 blokov.

Tunel Čebrať s dĺžkou 3,6 km je súčasťou úseku diaľnice D1 Hubová – Ivachnová. Zhotoviteľom stavby je združenie spoločností OHLA ŽS, a.s., a Váhostav-SK, a.s.

work on the secondary lining in the southern tube is already fully developed. From the foundation structures, 36 inverted arches from the entire tunnel remains to be carried out (Fig. 7). The concreting of the upper vaults is carried out by two sets of formwork travellers; to date concreting of 74 upper vaults has been finished.

In the northern tunnel tube, it is assumed that the excavation will be completed by the end of February 2023. Work on the secondary lining is also in full swing, although to date they are more than a month delayed compared to the southern tube. Today, the foundation structures – inverted arches – are being built at transverse connection No. 7, which means that they are already behind the middle of the tunnel. The upper vaults in the northern tube are also concreted by two concrete casting sets. As of today, 40 concrete blocks are finished.

The 3.6km long Čebrať tunnel is part of the section of the D1 Hubová – Ivachnová motorway. The construction contractor is the consortium of the companies OHLA ŽS, a.s., and Váhostav-SK, a.s.

Višňové tunel

The 7,450m long Višňové tunnel is part of the Lietavská Lúčka – Dubná Skala section of the D1 motorway. The construction contractor is the “SKANSKA-VIŠŇOVÉ” consortium. Work on the completion of the longest tunnel in the Slovak Republic is ongoing in continuous double-shift operation.

During the winter period, the work on the portal parts of the tunnel has slowed down and most of the construction work takes place in the tunnel itself and in the drainage gallery. The operations and technology objects (OTO) located at the western and eastern portals are finished, including waterproofing, the final facade and surface finishes in the rooms. At the eastern portal, work is in progress on the definitive cladding structures using gabions.

The secondary linings in the northern and southern tunnel tubes, including 18 emergency lay-bys concreted using formwork travellers, are completed (Fig. 8). The last blocks of the upper vault were carried out in the section from the eastern portal. Formwork travellers No. 3 and No. 4 finished their work with the concreting of two cut-and-cover blocks of the 8m long tunnel in December 2022 and January 2023. The work is also finishing on the last blocks of the emergency lay-bys NZ-3J and NZ-3S, where the secondary lining is being carried out by a slipform system in three steps – 2 × side walls and the emergency lay-by vault itself. The construction



Obr. 7 Budovanie protiklenby vo vstrojovacej triede VT 7 v tuneli Čebrať
Fig. 7 Construction of invert in excavation support class No. 7 in Čebrať tunnel



Obr. 8 Realizácia sekundárneho ostenia núdzového zálivu v tuneli Višňové
Fig. 8 Work on secondary lining of emergency lay-by in Višňové tunnel

Tunel Višňové

Tunel Višňové s dĺžkou 7 450 m je súčasťou úseku diaľnice D1 Lietavská Lúčka – Dubná Skala a jeho zhotoviteľom je združenie „SKANSKA-VIŠŇOVÉ“. Práce na dokončení najdlhšieho tunela v Slovenskej republike prebiehajú v nepretržite v dvojsmennej prevádzke.

V zimnom období sa práce na portálových častiach tunela utlmili a väčšina stavebných prác prebieha v samotnom tuneli a v drenážnej štólňi. Prevádzkovo-technologické objekty (PTO) nachádzajúce sa na západnom a východnom portáli sú stavebne ukončené vrátane zateplenia, finálnej fasády a povrchových úprav miestností. Na východnom portáli práce prebiehajú na definitívnych obkladových konštrukciách z gabionov.

Sekundárne ostenia v severnej a južnej tunelovej rúre vrátane 18 núdzových zálivov realizovaných pomocou debniacich vozíkov sú ukončené (obr. 8). Posledné bloky hornej klenby boli zrealizované v úseku od východného portálu. Debniace vozíky č. 3 a č. 4 svoju úlohu ukončili realizáciou dvoch hĺbených blokov tunela dĺžky 8 m v decembri 2022 a januári 2023. Práce finišujú aj na posledných blokoch núdzových zálivov NZ-3J a NZ-3S, kde sa sekundárne ostenie realizuje posuvným systémovým debnením v troch krokoch – 2× bočná stena a samotná klenba núdzového zálivu. Stavebne bola ukončená realizácia všetkých 10 prestupov do drenážnej štólne z priečných prepojení. V samotnej drenážnej štólňi sa realizuje zosilnenie ostenia a výklenky pre zvedenie drenážnych vôd do stredového žlabu.

Na horných klenbách definitívneho ostenia prebiehajú vyspravenia povrchov – brúsenie, čistenie a oprava povrchu. Tieto práce sa realizujú na piatich samostatných pracoviskách. Začiatkom roku boli začaté práce na vnútorných konštrukciách – realizácia výplne výklenkov s osadením šácht, deliacich priečok SOS kabín a priečok do priečných prepojení. Súčasne v zmysle objednávateľom schváleného rozsahu prác sa realizujú opravné práce na drenážnom systéme tunela po bývalom zhotoviteľovi tunela.

of all 10 openings to the drainage gallery from the cross passages has been structurally completed. In the drainage gallery itself, the increasing of the lining thickness and the niches for directing drainage water to the central trough is being carried out.

On the upper vaults of the final lining, treatment of surfaces is taking place – grinding, cleaning and surface repair. These works are carried out at five separate workplaces. At the beginning of the year, work was started on the internal structures – the filling of the niches with the installation of manholes, dividing partitions of emergency call niches and partitions to cross passages. At the same time, in accordance with the scope of work approved by the client, repair work is being carried out on the tunnel drainage system inherited after the former tunnel contractor.

In both tunnel tubes, bulk excavation of the tunnel floor has been finished and work continues on the filling of the tunnel bottom with



Obr. 9 Pokládka štrbinových žlabov odvodnenia vozovky v tuneli Višňové
Fig. 9 Installation of slotted pipes draining the roadway in Višňové tunnel

V oboch tunelových rúrach je zrealizovaná hrubá odťažba dna tunela a práce pokračujú na dobetónovaní výplne dna tunela. Z celkovej dĺžky tunela ostáva zrealizovať posledných 1 500 metrov. V súvislosti s realizáciou stavebného objektu vozovky tunela sú naplno rozbehnuté práce na realizácii drenážneho odvodnenia pláne vozovky a priečných prepojení drenážneho systému pod vozovkou zo zvedením vôd do odvodňovacej štôlne. V južnej tunelovej rúre sa začala realizácia odvodnenia vozovky (štrbinové žlaby, obr. 9).

Tunel Višňové na D1 nie je len veľký stavebný projekt v rámci výstavby diaľničnej siete SR. Je to aj mediálne intenzívne sledovaná stavba, a to na základe jej komplikovanej histórie aj súčasnosti. Predovšetkým je to ale sociálno-spoločenská téma pre všetkých občanov, ktorí v okolí žijú a každodenne trpia zložitou dopravnou situáciou v regióne. Z tohto dôvodu vznikla na ministerstve dopravy SR myšlienka, ako ľuďom vysvetliť zrozumiteľne to, čo sa na stavbe tunela Višňové deje a kam sa stavba posúva. Posledný aktuálny príspevok je možné zhladať na linku https://youtu.be/r2vwHJ_ywmY.

Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ, DOPRAVOPROJEKT, a.s.,
Ing. IVAN MICHALE, Váhostav-Sk, a.s.,
Ing. RÓBERT ZWILLING, Skanska SK a.s.

concrete. Of the total length of the tunnel, the last 1,500 metres remain to be completed. In connection with the construction object of the tunnel roadway, work is fully underway on the drainage of the roadway subgrade and the transverse connections of the drainage system under the roadway directing water to the drainage gallery. In the southern tunnel tube, the work on the roadway drainage (slotted drains, Fig. 9) has begun.

The Višňové tunnel on the D1 is not just a large construction project within the construction of the SR road network. It is also a project that is intensely followed by the media, based on its complicated history and present. Above all, however, it is a socio-societal issue for all citizens who live in the vicinity and suffer from the complex traffic situation in the region every day. For this reason, the Ministry of Transport of the Slovak Republic came up with the idea of how to explain to people in a comprehensible way what is happening at the Višňová tunnel construction and where the construction is moving. The last current contribution can be viewed at https://youtu.be/r2vwHJ_ywmY.

Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ, DOPRAVOPROJEKT, a.s.,
Ing. IVAN MICHALE, Váhostav-Sk, a.s.,
Ing. RÓBERT ZWILLING, Skanska SK a.s.

Z HISTORIE PODZEMNÍCH STAVEB FROM THE HISTORY OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

POHLEDNICE S TUNELY VE FRANCOUZSKÉM KRAJI DAUPHINÉ PICTURE POSTCARDS WITH TUNNELS IN FRENCH REGION OF DAUPHINÉ

Dauphiné is the name of a former province in the southeast of France, between the Rhone River and the Italian border, south of Savoy and north of Provence. The largest cities of the region there are Grenoble, Gap and Valence. Today, the territory is divided between the Isère, Drôme and Hautes-Alpes departments in the Rhône-Alpes and Provence-Alpes-Côte d'Azur regions. The nature of the Dauphine region is very rugged, and that always means building tunnels when developing the infrastructure. In the current part of the series, several local places with tunnels are presented. Five picture postcards present some of the tunnels on the remarkable La Mure railway track, coincidentally two and two pictures show the entrance gate on the road to the canyon of the Bourne River and also the road tunnels in the Rousset pass, and single picture postcards present both the old tunnel on the road to the Grand Cartouche monastery in Chartreuse and the now closed railway tunnel in Crémieux.

Dauphiné je názov niekdajšej provincie na juhovýchodě Francie, medzi riekou Rhónou a italskými hranicami, južne od Savojska a severne od Provence. Najväčšími mestami sú Grenoble, Gap a Valence. Územie je dnes rozdelené medzi departementy Isère, Drôme a Hautes-Alpes v regiónoch Rhône-Alpes a Provence-Alpes-Côte d'Azur. Oblasť Dauphiné je prirodzene veľmi členitá, a to pri budovaní infraštruktúry vždy znamená stavbu tunelov. V aktuálnom díle seriálu je tak prezentované niekoľko zdejších lokalít s tunelami – obr. 1. Päť pohľadnic predstaví niektoré z tunelov na pozoruhodnej železnici La Mure, shodne dva a dva obrázky uvedú vstupnú bránu na silnici do kaňonu rieky Bourne a tiež silničné tunely v průsmyku Rousset a po jednej pohľadnici sú prezentované jak starý tunel na

cestě k Velké Kartouze v Chartreuse, tak dnes již uzavřený železniční tunel v Crémieux.



Obr. 1 Francie – historické území Dauphiné – dnes departementy Isère, Drôme a Hautes-Alpes, lokality s tunelami prezentovanými na pohlednicích v článku jsou vyznačeny červeně

Fig. 1 France – historical region of Dauphiné – today departments of Isère, Drôme and Hautes-Alpes, localities with the tunnels presented in the picture postcards in the article are marked in red

Tunely na železnici La Mure

Jako „Ligné La Mure“ (česky „Železnice či Vláček La Mure“) je známa úzkorozchodná trať (1 000 mm), která svého času napojila

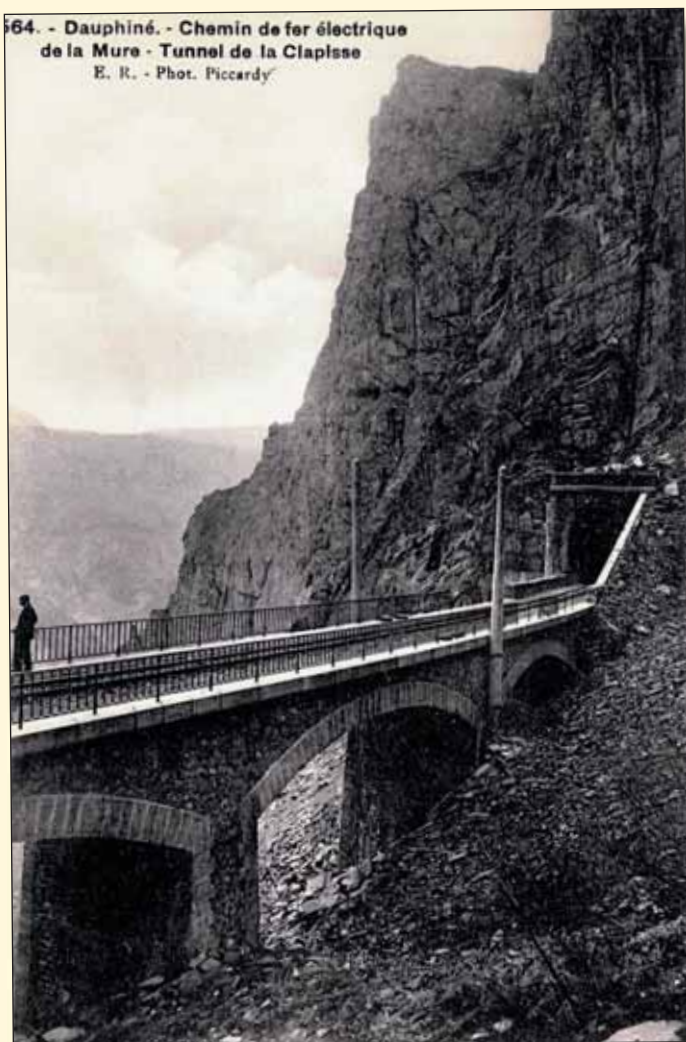


Obr. 2 Železnice de la Mure. Průchod Clapisse. Papeterie des Alpes, Eug. ROBERT, Grenoble. 1899 [sbírka autorů].

Pozn.: Správné pojmenování objektu je tunel Serguignou.

Fig. 2 De la Mure railway. Clapisse passage. Papeterie des Alpes, Eug. ROBERT, Grenoble. 1899 [authors' collection].

Note.: Correct name of the object is the Serguignou tunnel.



Obr. 3 564 – Dauphiné – Elektrifikovaná železnice de la Mure – tunel Clapisse. E. R. – Phot. Piccardy. Po 1920(?) [sbírka autorů].

Pozn.: Obdobně jako na obr. 2 je správné pojmenování tunelu Serguignou.

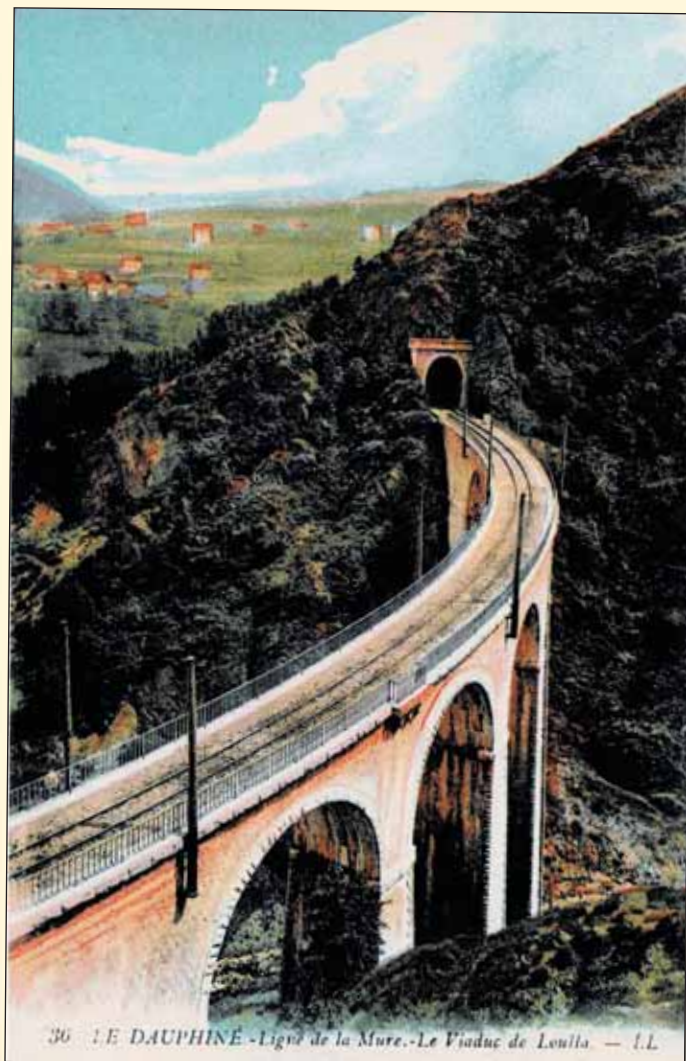
Fig. 3 564 – Dauphiné – Electrified railway de la Mure – the Clapisse tunnel. E. R. – Phot. Piccardy. After 1920(?) [authors' collection].

Fig.: Like in Fig. 2, correct name is the is Serguignou tunnel.

uhelné doly v La Mure (departement Isère) se Saint-Georges-de-Commiers (316 m n. m.) na lince z Grenoblu do Gap. První pozoruhodností dráhy bylo to, že při délce 30 km byly její koncové stanice vzdálené vzdušnou čarou pouze 16 km. Volba trasy nebyla vůbec jednoduchá. Údolí řeky Isère se nachází o 600 m níže než náhorní plošina Matheysine (900 m n. m.), a trať proto musela být vedena velmi členitým údolím řeky Drac. Právě proto byl zvolený úzký rozchod, umožňující jak menší poloměry směrových oblouků, tak současně přijatelné sklony do 28,5 ‰.

Stavba trvala 6 let a přišla na 12 mil. zlatých FR. Provoz byl zahájený 1. 8. 1888. Od listopadu 1912 je trať elektrifikovaná, a to dnes velmi neobvyklým napětím 2 400 V.

Železnice původně pokrývala kombinovanou přepravu osob i zboží, především kvalitního antracitového uhlí. S nástupem silniční konkurence však nastal úpadek. Jako první byla v roce 1950 zrušená přeprava osob a nadále se vozilo jen uhlí. To definitivně skončilo 18. 10. 1988. Již od roku 1978 však začali dráhu, od dubna do října 2× denně, využívat turisté. Vyhlídková jízda trvala při rychlosti do 30 km/h cca 1 hod. a 40 min. První vrchol zájmu veřejnosti znamenal rok 2005 se 79 599 platícími cestujícími.



Obr. 4 36 Dauphiné – Dráha ve stěně (Ligne de la Mure) – Viadukt Loulla. Kolorovaná fotografie. Okolo 1920 [sbírka autorů].

Jižní (vjezdový) portál tunelu Loulla přes klenutý a pro tuto železnici typicky směrově zakřivený Horní viadukt Loulla (110 m).

Fig. 4 36 Dauphiné – Line in the Wall (Ligne de la Mure) – Viaduct Loulla. Coloured photo. Around 1920 [authors' collection].

The southern (entrance) portal of the Loulla tunnel Gross, the vaulted and typically horizontally curved Upper Loulla viaduct (110m).



Obr. 5 566 Dauphiné – Dráha ve stěně (Ligne de la Mure) – Viadukt Loulla. ?? Kolem 1920 [sbírka autorů].

Stejně jako na obr. 4 je na pohlednici jižní (vjezdový) portál tunelu Loula a vpravo klenutý Horní viadukt Loulla. Vlevo dole je pak vidět stejnojmenný Dolní viadukt.

Fig. 5 566 Dauphiné – Line in the Wall (Ligne de la Mure) – Viaduct Loulla. ?? Around 1920 [authors' collection].

Like in Fig. 4, the southern (entrance) portal of the Loula tunnel and, on the right side, the vaulted Upper Loulla viaduct are in the picture postcard. The Lower viaduct can be seen at the bottom left.

Tento vývoj přerušil sesuv mezi tunely Serguignier a Brondes 26. 10. 2010. Část skalního útesu o kubatuře cca 3 000 m³ se zřítla na trať a silně poškodila viadukt Clapisse. Byl zastavený provoz, propuštěn personál. Následovaly roky jednání proč, jak, čeho a za co etc. etc. sjednat nápravu. Zařízení trati nezadržitelně chátralo, v listopadu 2013 dokonce část trolejového vedení odcizili zloději mědi... Po mnoha byrokratických bitvách trvajících dlouhých 11 let a spojením řady finančních příspěvků v řádu desítek mil. € (k čemu stát přidal jen pakatel ve výši 160 tis. €) se podařila jistá náprava. Od 1. 7. 2021 byl do provozu znovu uveden poloviční úsek dráhy dlouhý 15 km, spojující Mure a „Grand Balcon“ ve městě Monteynard. Trasa má inzerovanou dobu okružní jízdy 1 hod. a 20 min. a zahrnuje pouze pět tunelů a tři viadukty. V roce 2022 služby této, dnes již výlučně turistické, železnice využilo 48 000 cestujících.

Trať měla původně 18 tunelů, z nichž 7 délkou přesahovalo 250 m:

- la Festinière – 1 071 m;
- les Ripeaux – 438 m;
- Brondes – 401 m;
- Ravison – 393 m;
- Serguignou – 309 m;
- les Challanches II – 298 m;
- Pré Baron – 254 m.

Souhrnně byly všechny tunely dlouhé 4 257 m, tj. více než 14 % délky celé trati; 15 tunelů bylo v oblouku, z nich 12 o minimálním poloměru 100 m, dva tunely (Ravison a les Ripeaux) byly polosmyčkové (tj. překračující 180°) a podélný sklon všech tunelů se pohyboval mezi 22,5 až 27,5 ‰.

Železnice provozovala rovněž devět mostů a viaduktů delších než 30 m, všechny zděné, tři nejkratší byly klenuté o jednom poli šířky 15 či 25 m. Zbývajících šest klenutých mělo více oblouků rozpětí 10 nebo 12 m. Většina viaduktů se nacházela ve směrových obloucích a všechny byly ve velkém sklonu [1, 2].

Z tunelů železnice La Mure jsou v článku představeny na pohlednicích čtyři:

- **Serguignou**, dlouhý 309 m – obr. 2 a 3. Oba obrázky s východním portálem tunelu Serguignou jsou však mylně označe-



Obr. 6 570 – Dauphiné – Dráha ve stěně (Ligne de la Mure). Okolo 1920(?) [sbírka autorů].

Výhled ze severního portálu tunelu Chalanches 2 k jižnímu portálu tunelu Chalanches 1.

Fig. 6 570 – Dauphiné – Line in the Wall (Ligne de la Mure). Around 1920(?) [authors' collection].

View from the northern portal of the Chalanches 2 tunnel toward the southern portal of the Chalanches 1 tunnel.

né jako průchod (resp. tunel) Clapisse, využívající tak jméno tříobloukového, 55 m dlouhého a 13 m vysokého, viaduktu Clapisse. A právě tento viadukt a přilehlý portál tunelu Serguignou byly v roce 2010 velmi poničené sesuvem.

(Pozn.: Jedna pohlednice s tímto tunelem již byla uveřejněna v Tunelu 2/2021.)

- **Loulla**, tunel dlouhý pouhých 39 m, navazuje na horní viadukt Loula dlouhý 110 m – obr. 4 a 5. Vzhledem k nevelké délce je vedený v přímé, a to jako jeden z pouhých tří na této trati.
- Na obr. 6 je výhled z 299 m dlouhého tunelu **Chalanches 2** k navazujícímu tunelu **Chalanches 1** (153 m).

Tunel v Chartreuse

Masiv Chartreuse se nachází v západních (savojských) Alpách. Značná část místní a turistické dopravy je zde obsluhovaná pouze 10 km dlouhou státní silnicí 520b. Ta roku 1933 spojila ve stopě staré lesní cesty město Saint-Laurent du Pont s vesnicí Saint-Pierre-de-Chartreuse. Odtud vede jen krátká odbočka k mateřskému klášteru kartuziánského řádu – tzv. Velké Kartouze (La Grande Chartreuse). Počátky kláštera i řádu založených sv. Brunem se



Obr. 7 Silnice Grande Chartreuse (jeden z tunelů). Bernard, phot.-édit., Belley. 1920 [sbírka autorů].

V levém horním rohu pohlednice je reklama na boty „U neuvěřitelných“ („Aux Incroyables“), 8 Rue Dode, Voiron. Voiron – město u Grenoble. Jde o jeden ze dvou nejkratších tunelů na přístupu k Velké Kartouze, a to v podobě před rokem 1933. Prostý skalní profil tunelu není vyšší než 3,50 m.

Fig. 7 Grande Chartreuse road (one of the tunnels). Bernard, phot.-édit., Belley. 1920 [authors' collection].

In the top left corner of the picture postcard there is an advertisement for shoes „Incredibles“ („Aux Incroyables“), 8 Rue Dode, Voiron. Voiron – a town Near Grenoble. It is one of the two shortest tunnels on the approach to the Grand Cartouche monastery in the pre-1933 form. The unsupported rock profile of the tunnel is not higher than 3.50m.

sice kladou již do roku 1084, světoznámým se však stal až po roce 1605, a to díky věhlasnému likéru...

V úzkém kaňonu řeky Le Guiers Mort prochází silnice celkem čtyřmi tunely řazenými bezprostředně za sebou. Nejdlejší z nich (cca 250 m) je na jejím počátku, tři krátké (cca 50 m, 30 m a necelých 10 m) asi 1 km před odbočkou ke Kartouze (viz Tunel 1/2021). Podoba jednoho ze dvou nejkratších tunelů z doby před rokem 1933 je na pohlednici na obr. 7 [3].

Tunel v Crémieu

Crémieu je obec na severu Dauphiné, v mohutném ohbí řeky Rhône. Jednalo se o významnou stanici na Východní Lyonské železnici (Chemin de Fer de East Lyonnais – CFEL). Tato jednokolejová dráha spojovala Lyon s Aoste-Saint-Genix. Její stavba probíhala v letech 1881–1889 a původně měřila 124 km. Již před 2. světovou válkou však počalo dlouhé období postupného uzavírání,



Obr. 8 Okolí Crémieu (Isère) – Soutěska Fusa. B. F., Paris. 1912 [sbírka autorů].

Na pohlednici je stará silnice do Crémieu s východním portálem tunelu Fusa. Oba portály zrušeného tunelu jsou dnes zazděné.

Fig. 8 Crémieu (Isère) surroundings –Fusa gorge. B. F., Paris. 1912 [authors' collection].

There is the old road to Crémieu with the eastern portal of the Fusa tunnel in the picture postcard. Both portals of the cancelled tunnel are currently bricked over.

definitivní ukončení provozu připadlo na rok 2003. Na dráze se nacházel jediný, 102 m dlouhý, tunel, pojmenovaný podle soutěsky Fusa (obr. 8). Dnes je na úseku bývalé železnice dlouhým 18 km cyklostezka spojující Crémieu a Arandon [4].

Tunely v kaňonu řeky Bourne

Výrazný masiv Vercors na hranici departementů Isère a Drôme protíná řeka Bourne až 917 m hlubokým kaňonem (Gorges de la Bourne). Kaňon je dlouhý 24 km a vede od mostu v Royans (Pont-en-Royans) na soutoku řek Bourne a Isère SV směrem až do Villard-de-Lans, jen cca 10 km od Grenoble.

Přístupová silnice byla po 11 letech práce dokončena roku 1872. Nachází se na ní pět tunelů, z toho tři velmi krátké, charakteru nevyzděných „skalních bran“. Bráno od soutoku proti proudu řeky: nejdlejší z tunelů je v Arbois (cca 120 m), dva krátké v lokalitě Goule Noir – Renculer (délky cca 20 a 25 m) a v závěru kaňonu dva tunely v Gorges (délky cca 60 a 25 m) – obr. 9 a 10.



Obr. 9 211 Dauphine – Vercors. Kaňon řeky Bourne – E. R. Okolo 1920 [sbírka autorů].

Na pohlednici je první krátký „skalní“ tunel při vstupu do kaňonu směrem od Grenoble, tj. od východu.

Fig. 9 211 Dauphine – Vercors. Bourne river Canon – E. R. Around 1920 [authors' collection].

In the picture postcard, there is a short „rock“ tunnel at the entrance to the canyon viewed from Grenoble, i.e. from the east.

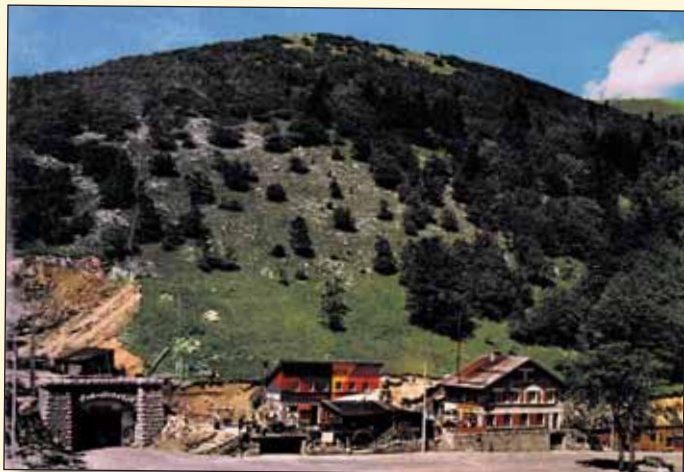


Obr. 10 1093 – kaňon řeky Bourne. Edition «La Cigogne», 1, rue de Palanka – Grenoble (Exkluzivité André Leconte). Okolo 1920 [sbírka autorů].

Tentýž tunel jako na obr. 9, ale zblízka.

Fig. 10 1093 – Bourne river canyon. Edition «La Cigogne», 1, rue de Palanka – Grenoble (Exkluzivité André Leconte). Around 1920 [authors' collection].

The same tunnel as that in Fig. 9, but from close-up.



Obr. 12 Alpy v přírodních barvách LE VERCORS – průsmyk Rousset (1 225 m). André © Grenoble. Okolo 1980 [sbírka autorů].

V levém dolním okraji pohlednice je severní portál nového tunelu z roku 1979. Vpravo se nachází sportovní chata, postavená roku 1950 v místě původní, vypálené za 2. sv. války okupanty.

Fig. 12 The Alps in natural colours LE VERCORS – Rousset pass (1225m). André © Grenoble. Around 1980 [authors' collection].

In the bottom left corner of the picture postcard, there is the northern portal of the new tunnel from 1979. On the right there is a sports cottage, built in 1950 on the original site, burned down during the World War 2 by occupiers.



Obr. 11 7243.2 Okolí Die (Drôme) – průsmyk Rousset – Col du Rousset (1255 m) – Tunel (pohoří Vercors – côté Vercors). Edition Rambaud, Die. – A. Hourlier, 5, Rue Génissieu – Grenoble. 1930 [sbírka autorů].

Jižní portál starého tunelu z roku 1866.

Fig. 11 7243.2 Die (Drôme) surroundings – Rousset pass – Col du Rousset (1255m) – Tunnel (Vercors mountain range – côté Vercors). Edition Rambaud, Die. – A. Hourlier, 5, Rue Génissieu – Grenoble. 1930 [authors' collection].

Southern portal of the old tunnel from 1866.

Grandiózní trase, s řadou mimořádných výhledů, krasových jevů (jeskyně, závrtky etc.) a míst pro sportovní lezce, přidělal průvodce Michelin nejvyšší hodnocení *** [4, 5].

Tunely v průsmyku Rousset

Jedním z mála míst, které umožňují vstup do náhorní plošiny Vercors, je průsmyk Rousset (1 367 m n. m.). Původní stezka pro pěší byla od jihu z obce Die nahrazena silnicí otevřenou v roce 1866, s průchodem na severní stranu průsmyku tzv. starým tunelem. Je dlouhý přibližně 580 m a byl vyražený v letech 1861–1866 v nadmořské výšce 1 224 m. Po dokončení postrádal portály, které byly vyzděné až po roce 1906 – obr. 11.

Nový tunel, souběžný se starým, byl dokončený v roce 1979 – obr. 12. Měří 769 m a je vedený ve výšce 1 249 m n. m. Po jeho zprovoznění byl starý tunel uzavřený.

Průsmykem mnohokrát projížděl cyklistický závod Tour de France [6, 7].

doc. Ing. VLADISLAV HORÁK, CSc.,
Ing. MILAN MAJER,
Ing. RICHARD SVOBODA, Ph.D.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Chemin de fer de La Mure [online]. [cit. 2022-12-28]. Dostupné na internetu: < Mureská železnice – Wikipedie (fr-m-wikipedia-org.translate.goog) >
- [2] Inventaire des tunnels ferroviaires Français [online]. [cit. 2022-12-28]. Dostupné na internetu: < <http://www.tunnels-ferroviaires.org/inventaire.htm> >
- [3] Route nationale française 520b [online]. [cit. 2022-12-28]. Dostupné na internetu: < https://routes.fandom.com/wiki/Route_nationale_fran%C3%A7aise_520b >
- [4] Chemin de fer de l'Est de Lyon (CFEL) [online]. [cit. 2022-12-28]. Dostupné na internetu: < Chemin de fer de l'Est de Lyon — Wikipédia (wikipedia.org) >
- [5] Gorges de la Bourne [online]. [cit. 2022-12-28]. Dostupné na internetu: < Gorges de la Bourne — Wikipédia (wikipedia.org) >
- [6] Col de Rousset [online]. [cit. 2022-12-28]. Dostupné na internetu: < Vercors Drôme Tourisme — Route du Col de Rousset (www.vercors--drome-com.translate.goog) >
- [7] Photos anciennes du Col de Rousset [online]. [cit. 2022-12-28]. Dostupné na internetu: < Photos anciennes du Col de Rousset (www.debart-info.translate.goog) >

VÝROČÍ ANNIVERSARIES

ING. JAN VINTERA SLAVÍ LETOS SEDMDESÁTINY ING. JAN VINTERA CELEBRATES SEVENTY YEARS OF AGE THIS YEAR

„Čas letí jako bláznivý“, říká text jedné populární české písně. Našemu bývalému kolegovi, který strávil více než 40 let v tunelářské branži, bude letos na začátku měsíce března pěkných kulatých 70 let. Za tu dobu vychoval mnoho dalších následovníků, a i proto bychom mu chtěli popřát prostřednictvím časopisu Tunel.

Narodil se v Praze a po absolvování Střední průmyslové školy stavební v Dušně studoval od roku 1973 na ČVUT Fakultě stavební v Praze. Od dětství stejně tak jako v rámci studií se také aktivně věnoval basketbalu, hrál I. ligu za Spartu a jeho kolegy byli i takoví velikáni českého basketbalu jako např. p. Zídek.

V roce 1979 hned po absolvování studia nastoupil do společnosti VDUP (Výstavba dolů uranového průmyslu), předchůdce společnosti Subterra, která vznikla v roce 1990.

Ať již jako mistr, později pak jako stavbyvedoucí, vedoucí provozu nebo hlavní inženýr závodu působil na mnoha zajímavých stavbách, počínaje Stokou K v Praze, přes různé i kanalizační sběrače (Ružyně a Zbraslav v Praze, Stoka Y Ústí nad Labem) až po výstavbu kolektorů, které bezpečnostně určily i další směr jeho profesního vývoje. Ten vedl ke Kolektoru Královská cesta, Centrum I., Tylovo divadlo, Centrum I. A., který mezi stavbami tohoto druhu patřil k nejvýznamnějším.

V roce 1997 se stal ředitelem divize 1 Subterra a.s. Pod jeho vedením bylo zrealizováno mnoho dalších technicky zajímavých staveb, mezi nimiž je třeba zmínit další pražské kolektory, jako například Příkopy, Vodičkova a Václavské náměstí A a B. Z dopravních staveb nelze opomenout železniční tunely Krasíkov I a II, Hněvkovský I., Malá Huba a Nové Spojení v Praze. Velké zkušenosti a poznatky jsou spojeny i s tunelem Jablunkov.

Na silnicích nesou jeho podpis např. tunely Dobrovského v Brně, tunel na pražském okruhu 513 a tunel na dálnici D8 Prackovice. Divize 1 se také pod jeho vedením podílela na výstavbě Metra IVC I.

Od poloviny roku 2009 pak Honza dále předával své pracovní zkušenosti z pozice experta pro podzemní stavby v úseku výrobně technického ředitele.

Během své pracovní kariéry získal mnoho ocenění, mezi nimiž je i pamětní medaile České tunelářské asociace udělená v roce 2021, které si velmi váží.

Poděkujeme Honzovi za jeho velký pracovní i lidský přínos při výstavbě podzemních děl nejen v Česku (má za sebou i výstavbu dálničního tunelu Tuhobič v Chorvatsku) a popřejme mu do dalších let mnoho zdraví a energie pro naplnění jeho přání.

Ing. JAN FRANTL



„Time flies like being crazy“, says the lyrics of a popular Czech song. Our former colleague, who spent more than 40 years in the tunnel construction industry, will live to see the nice, rounded 70 this year, at the beginning of March. During that time, he has cultivated many more followers, which is why we would like to congratulate him through Tunel journal.

He was born in Prague and after graduating from the Secondary Vocational School of Civil Engineering in Dušně street, he studied from 1973 at the Czech Technical University, Faculty of Civil Engineering in Prague. From childhood, as well as during his studies, he was also actively involved in basketball, playing in the First League for Sparta, and among his colleagues there were also such giants of Czech basketball as, for example, Mr. Zídek.

In 1979, immediately after graduation, he joined VDUP (Uranium Industry Mines Development), the predecessor of Subterra, which was founded in 1990.

Whether as a foreman, later as a construction manager, operations manager or chief engineer of a plant, he worked on many interesting construction projects; starting with the Sewer K in Prague, through various interceptor sewers (Ružyně and Zbraslav in Prague, Sewer Y Ústí nad Labem) to the construction of service tunnels, which undoubtedly determined the next direction of his professional development. This led to the Královská Cesta service tunnel, Centre I., J. K. Tyl theatre, Centre I. A., which was one of the most important structures of this type.

In 1997, he became the director of Division 1 of Subterra a.s. Many other technically interesting structures were carried out under his leadership. Among them we should mention other Prague service tunnels, such as Příkopy, Vodičkova and Wenceslas Square A and B. The railway tunnels Krasíkov I and II, Hněvkovský I., Malá Huba and New Connection cannot be omitted from the transport construction projects he was in charge of. Great experience and knowledge are also associated with the Jablunkov tunnel.

On roads, his signature bear, for example, the Dobrovský tunnels in Brno, the tunnel on the Prague City Circle Road 513 and the Prackovice tunnel on the D8 motorway. Division 1 also participated under his leadership in the construction of IVC section of the metro C Line.

From the middle of 2009, Jan continued to pass on his work experience from the position of an expert for underground construction in the department of the chief operating and technical officer.

During his working career, he received many awards, including the commemorative medal awarded by the Czech Tunnelling Association in 2021, which he greatly respects.

Let's thank Jan for his great work and human contribution to the construction of underground works not only in the Czech Republic (he also completed the construction of the Tuhobič motorway tunnel in Croatia) and wish him good health and energy in the coming years for fulfilling his wishes.

Ing. JAN FRANTL

ROZLOUČENÍ LAST FAREWELL

JOHN FOSTER, 1947–2022 JOHN FOSTER, 1947–2022

V závěru loňského roku zasáhla tunelářský svět smutná zpráva o úmrtí Johna Fostera. Muže, který byl nejen nezpochybnitelný odborník světového významu především v oblasti tunelovacích strojů, ale též zcela obyčejný člověk morálních hodnot, kamarádkého chování a optimistického

At the end of last year, the tunnelling world was hit by the sad news of the death of John Foster. He was not only an unquestionable expert of world importance, especially in the field of tunnelling machines, but also a completely ordinary person with moral values, friendly behaviour

přístupu k životu s charakteristickým úsměvem ve tváři. Ve své profesi byl vysoce respektován a uznáván a jeho slova měla vždy velkou váhu.

John Foster, absolvent oboru strojírenství, zůstal po celý život věrný tunelovacím strojům. Nejprve ve firmě Edmund Nuttall, posléze ve společnosti R L PRIESTLEY, kde se podílel na konstrukci mnoha tunelovacích strojů pro použití ve Velké Británii, Itálii a Československu. Posléze jako výkonný ředitel společnosti Decon a ve spolupráci s James Howden&Company vedl konstrukční tým pro čtyři britské stroje pro tunel pod kanálem La Manche dodané společnosti Trans Manche Link. V roce 1987 založil Mechanised Tunnelling Services jako vlastní poradenskou firmu pro oblast tunelového stavitelství. Po následující tři desetiletí využíval své odborné znalosti k poskytování konzultací na projektech v Evropě, Asii a Jižní Americe.



Je nám velkou ctí, že část svého profesního a konečně i civilního života spojil nejprve s Československem a později s Českou republikou. Proto bychom rádi v části tohoto medailonku dali prostor těm, kteří měli to štěstí, že se s Johnem mohli potkat osobně, aby připojili svou vzpomínku na něj.

Ing. Antonín Stokláška, IPS Praha (dříve):

Johna jsem poznal v polovině 80. let minulého století ve společnosti IPS Praha. Pracoval zde jak konzultant dodavatele technologie TBM firmy R L PRIESTLEY. S tímto progresivním, charismatickým, energickým a velmi komunikativním člověkem jsme si sedli technicky i lidsky. Naše spolupráce pokračovala i v dalších letech a postupně přešla v dlouhodobé přátelství, které trvalo celých 46 let. Setkávali jsme se při různých tunelářských akcích a hlavně každých pět let jsme slavili někdy v Anglii, někdy v Praze naše společné narozeniny. John byl uznávaný odborník a přitom velmi lidský a veselý člověk, který nesmírně miloval svoji velkou rodinu a život jako takový.

Ing. Ermín Stehlík:

„John v podstatě může za moji kariéru v zahraničí, byl to on, kdo mi vyjednal interview v UK, a tak začalo moje putování po světě za tunely. Byl mi vždy velkou oporou, pokud šlo o řešení problematiky týkající se TBM. Povedlo se mi jej získat jako poradce pro Metrostav při výstavbě Metra VA, kdy s námi byl od začátku projektování dvou TBM od firmy Herrenknecht, až do jejich uvedení do provozu. Jedna vzpomínka je velmi specifická, a to z oslavy na stavbě Metra VA, kdy John nemohl pít tvrdý alkohol, který nám nabízeli raziči (domácí meruňkovice). Aby se neurazili, tak jsem za Johna pil já. Výsledkem byla velmi dlouhá jízda tramvají 22 z Bílé Hory až na konečnou...“

Ing. Petr Hybský:

„Johna jsem poznal již během výstavby metra VA a byl jsem proto moc rád, že jeho spolupráce s Metrostavem pokračovala i při přípravě ražeb Ejpovických tunelů. Jeho odborné znalosti byly nenahraditelné a pro mne obohacující. Nejvíce mám však Johna spojeného s jeho skromností a uměním mít radost ze zcela prostých a každodenních věcí, jakými byly procházky v lesích a přírodě jeho domoviny.“

Johne, všem, kteří měli tu možnost se s Vámi setkat nebo s Vámi spolupracovat budete velmi chybět. Jako odborník, jako osobnost, ale mnohým také jako kamarád. Společné zážitky a vzájemná spolupráce zůstanou v našich vzpomínkách a otisk Vaší práce bude navěky vepsán do tras tunelů po celém světě. Děkujeme.

PETR HYBSKÝ

and an optimistic approach to life with a characteristic smile on his face. In his profession, he was highly respected and recognised and his words always carried great weight.

John Foster, an engineering graduate, remained devoted to tunnelling machines throughout his life. First at Edmund Nuttall, then at R L PRIESTLEY, where he was involved in the construction of many tunnelling machines for use in Great Britain, Italy and Czechoslovakia. Later as Managing Director of Decon and in association with James Howden&Company he led the design team for four British Channel Tunnel machines supplied to Trans Manche Link. In 1987, he founded Mechanised Tunnelling Services as his own consulting company for the field of tunnel construction. For the next three decades, he used his expertise to provide consultancy on projects in Europe, Asia and South America.

It is a great honour for us that he connected part of his professional and finally his civil life first with Czechoslovakia and later with the Czech Republic. Therefore, we would like to provide space in the section of this contribution to those who were lucky enough to meet John in person to add their memory of him.

Ing. Antonín Stokláška, IPS Prague (previously):

I met John in the mid-1980s at IPS Praha. He worked here as a consultant to R L PRIESTLEY, the TBM technology supplier. We suited each other with this progressive, charismatic, energetic and very communicative person, both technically and personally. Our cooperation continued for the next few years and gradually turned into a long-term friendship that lasted full 46 years. We used to meet at various tunnelling events and especially every 5 years we celebrated our joint birthdays, sometimes in England, sometimes in Prague. John was a respected expert and at the same time a very human and cheerful person who loved his large family and life in general.

Ing. Ermín Stehlík:

“John is basically responsible for my career abroad, he was the one who arranged an interview for me in the UK, and that’s how my journey around the world behind the tunnels began. He was always a great support for me when it came to solving issues related to TBMs. I managed to get him as a consultant for Metrostav during the construction of Metro VA line, when he was with us from the beginning of the design of two TBMs from the Herrenknecht company until they were put into operation. One memory is very specific, from the celebration at the Metro VA construction site, when John could not drink the hard alcohol offered to us by the miners (homemade apricot brandy). So that they wouldn’t be offended, I drank “on John’s behalf”. The result was a very long ride on tram No.22 from Bílá Hora to the final destination...“

Ing. Petr Hybský:

„I met John already during the construction of the VA metro line, and I was therefore very happy that his cooperation with Metrostav continued during the driving of the Ejpovice tunnels. His expertise was irreplaceable and rewarding for me. In addition, what I associate most with John is his modesty and ability to enjoy simple and everyday things, such as walks in the woods and nature of his homeland.“

John, you will be greatly missed by all who had the opportunity to meet or work with you. As an expert, as a personality, but also as a friend to many. Recollections of shared experiences and cooperation will remain in our memories, and the imprint of your work will forever be inscribed in tunnel routes around the world.

PETR HYBSKÝ

Z ČINNOSTI PRACOVNÍCH SKUPIN CZTA WORKING GROUPS

WORLD TUNNEL DAY
WORLD TUNNEL DAY

Young members mezinárodní tunelářské asociace (ITA_ym) v roce 2022 opět pořádaly tzv. World Tunnel Day. Akce se konala 5. prosince on-line přes platformu zoom jako forma oslavy svátku sv. Barbory. Jednalo se o 24hodinový maraton prezentací ze všech koutů světa. V rámci akce jednotlivé národní asociace Young Members prezentovaly svoji činnost a informovaly, co se děje v jejich zemích na poli podzemních staveb. CzTA_ym se akce rovněž zúčastnila jako každý rok ve sdíleném bloku spolu s Německem a Rakouskem. Video prezentací je možné zhlédnout na youtube: <https://www.youtube.com/@itaym3126/videos>.

Dr.-Ing. ZDENĚK ŽIŽKA, zdenek.zizka@metroprojekt.cz



5 DEC ONLINE MEET-UP
WORLD TUNNEL DAY 2022 - Timetable (GMT)

Australia	08:00	Switzerland	15:00
Japan	08:30	Portugal	15:30
China	09:00	UK	16:00
Singapore	09:30	Austria	16:30
India	10:00	Czech Republic	16:45
		Germany	17:15
		Italy	17:30
ASIA-OCEANIA SOCIAL 10:30			
Finland	11:00	EUROPE SOCIAL 2	18:00
Greece	11:30		
Denmark	12:00	Brazil	18:30
France	12:30	Chile	19:00
Netherlands	13:00	Canada	19:30
Norway	13:30	USA	20:00
Spain	14:00	Mexico	20:30
EUROPE SOCIAL 1	14:30	AMERICAS SOCIAL	21:00

#WorldTunnelDay #StBarbarasDay #ilovetunnels #ITAym

World Tunnel Day

Young members of the International Tunnelling Association (ITA_ym) again organised the World Tunnel Day in 2022. The event took place on December 5, online via the Zoom platform as a form of celebration of St. Barbara. It was a 24-hour marathon of presentations from all over the world. As part of the event, individual Young Members national associations presented their activities and informed what is happening in their countries in the field of underground construction. CzTA_ym also participated in the event as every year in a shared block together with Germany and Austria. Presentation videos can be viewed on YouTube: <https://www.youtube.com/@itaym3126/videos>.

Dr.-Ing. ZDENĚK ŽIŽKA, zdenek.zizka@metroprojekt.cz



WORLD TUNNEL DAY
5 DECEMBER 2022
CELEBRATING TUNNELS & TUNNELLERS AROUND THE GLOBE
JOIN VIRTUALLY ANYWHERE & ON ANY DEVICE
EVENT START: +0.00 GMT

ONLINE MEET-UP

in /itaym
@itaym35

#WorldTunnelDay #StBarbarasDay #ilovetunnels #ITAym

World Tunnel Day

ZPRAVODAJSTVÍ ČESKÉ A SLOVENSKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE ITA-AITES
CZECH AND SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES REPORTS

www.ita-aites.cz

KONFERENCE PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2023
CONFERENCE UNDERGROUND CONSTRUCTION PRAGUE 2023

The 15th international conference Underground construction Prague 2023 will be held from May 29 to 31, 2023 at the Clarion Congress Hotel in Prague. 150 abstracts from 28 countries have been registered at the conference. At the end of 2022, the introductory and invited lectures were specified, to be again given by renowned foreign experts. As part of the conference,

there will also be a panel discussion focused on tunnel accidents (causes, risks and measures). On Sunday 28 May 2023 (i.e. the day before the conference) an accompanying course focusing on the use of BIM in underground construction will be organised. All information about the conference is available on the website www.ucprague.com.

15. ročník mezinárodní konference Podzemní stavby Praha 2023 se uskuteční ve dnech 29. až 31. května 2023 v pražském kongresovém hotelu Clarion. Konference proběhne v obdobném formátu jako v minulosti. Součástí konference bude opět společenský večer v Břevnovském klášteře, technické exkurze, posterová sekce, výstava, apod.

Na konferenci bylo přihlášeno 150 abstraktů z 28 zemí. Necehlá polovina přihlášených abstraktů je z ČR (70 abstraktů), ostatní přihlášené abstrakty jsou převážně z evropských zemí, ale i z řady mimoevropských zemí (např. Austrálie, Chile, Čína, Indie, Irák, Kanada, Korea, Singapur, USA, atd.). Výsledný počet přihlášených abstraktů je nižší než v minulých letech (2010 bylo 217 abstraktů, 2013 bylo 178 abstraktů, 2016 bylo 225 abstraktů a 2019 bylo 190 abstraktů).

Koncem roku 2022 byly upřesněny **úvodní a vyzvané přednášky**, které opět přednesou hlavně renomovaní zahraniční odborníci jako prof. Robert Galler a Gerhard Harer (oba z Rakouska), Dr. Vojtech Gall a Nasri Munfah (oba z USA), prof. Bai Yun z Číny, prof. Shahab Yasrobi z Kanady, Martin Knights ze Spojeného krá-

lovství, Heinz Ehrbar ze Švýcarska, Dr. Davorin Kolic z Chorvatska, Dr. Monika Mitew-Czajewska z Polska, atd.

V rámci konference také proběhne **panelová diskuse zaměřená na havárie tunelů** (příčiny, rizika a opatření), mezi panelisty také bude řada renomovaných zahraničních odborníků působících na manažerských pozicích v projekčních, zhotovitelských i investorských společnostech.

V neděli 28. května 2023 (tj. den před konferencí) bude uspořádán **doprovodný kurz zaměřený na používání BIM** v podzemním stavitelství, což je v současné době velmi aktuální téma. Účast na kurzu je třeba potvrdit, poplatek za kurz 1000 Kč není zahrnut v registračním poplatku konference, kapacita sálu je omezená.

Veškeré informace o konferenci jsou dostupné na webových stránkách www.psp Praha.cz (česky) a www.ucprague.com (anglicky). **Standardní registrace účastníků konference bude ukončena 10. 4. 2023, následně bude možné využít pozdní registraci za vyšší poplatek.** Těšíme se na Vaši účast.

*prof. Ing. MATOUŠ HILAR, Ph.D., hilar@3-g.cz
předseda vědecké rady konference PS 2023*

SPRAVODAJ SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE NEWSLETTER OF THE SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION

The General Assembly of the Slovak Tunnelling Association was held on November 4, 2022 in the premises of the Faculty of Civil Engineering of the Slovak Technical University in Bratislava. Among most important points of the General Assembly there was the Election of the new STA Committee for the period 2023–2026. The General Assembly elected the eleven members of the STA Committee from the submitted list of candidates for the period of the next four years. The newly elected STA committee met for the first time at a meeting on February 3, 2023 at the association's headquarters. The election of STA officials for the period 2023–2026 took place in accordance with the statutes. Ing. Miloslav Frankovský was elected chairman, Ing. František Očkaják vice-president and Ing. Victoria Chomová the secretary.

Dňa 4. novembra 2022 sa v priestoroch Stavebnej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave konalo Valné zhromaždenie Slovenskej tunelárskej asociácie.

V prvých bodoch programu boli predložené správa o činnosti STA a správa o hospodárení STA. Správu o činnosti prezentoval predseda STA Ing. Miloslav Frankovský a správu o hospodárení poverený člen výboru Ing. Ivan Michale.

Ďalším bodom Valného zhromaždenia boli voľby nového výboru STA na obdobie rokov 2023–2026. Valné zhromaždenie z predloženej kandidátky zvolilo jedenástčlenný výbor STA na obdobie nasledujúcich štyroch rokov. Novozvolení členovia výboru STA sú nasledovní (v abecednom poradí): Ing. Tibor Bielokostolský, TuCon a.s., Ing. Miloslav Frankovský, Dopravoprojekt a.s., Ing. Viktória Chomová, Dopravoprojekt a.s., RNDr. Michal Kubiš, PhD., DPP Žilina spol. s r.o., Ing. Ján Kušnír, MDV SR, Ing. Soňa Masarovičová, PhD., SvF ŽU Žilina, Ing. Ivan Michale, Váhostav – SK a.s., Ing. František Očkaják, Doprastav a.s., Ing. Luboš Rojko, PhD., Geoconsult s.r.o., Ing. Jaroslav Štrba, Národná diaľničná spoločnosť a.s., Ing. Robert Zwilling, Skanska a.s.

V ďalšom bode boli prediskutované plánované aktivity STA v nasledovnom období. Diskusiu o plánovaných aktivitách viedla Ing. Viktória Chomová. Hlavnými bodmi, na ktoré sa nový výbor STA chce sústrediť, sú nasledovné:

- Spolupráca s vysokými školami, zahrňujúca podporu výučby

odborných predmetov na technických univerzitách, ktoré sú členmi STA.

- Spolupráca s prevádzkovateľmi tunelov (Národná diaľničná spoločnosť a Železnice Slovenskej republiky), pričom sa predpokladá prehĺbenie spolupráce pri riešení problémov v prevádzkovaných tuneloch.
- Organizácia konferencií a seminárov, pričom sa výbor zaoberal možnosťou organizácie konferencie k výročiu 30 rokov od založenia STA. Predbežné navrhované termíny konferencie sa predpokladajú na jar alebo jeseň 2024.

V poslednom bode programu, diskusií, vystúpilo viacero účastníkov valného zhromaždenia, pričom ich príspevky sa týkali nasledovných tém:

- Pri publikovaní odborných článkov autori často narážajú na problém pri zverejňovaní údajov a informácií o stavbách zo strany investora.
- Problémy s realizáciou, interpretáciou a vyhodnotením výsledkov geotechnického monitoringu po skončení výstavby tunelových stavieb.
- Obhliadky tunelových rúr a monitoring počas plánovaných odstávok tunela.
- Problémy s exkurziami a návštevami na prebiehajúcich stavbách.
- Možnosť realizácie exkurzie na stavbe Rýchlostná cesta S1 Bielsko-Biała – Żywiec – Zwardoń na úseku Przybędza – Miłowka (obchvat Węgierska Górka).
- Rozpočet na rok 2023 – diskusia na tému výšky členského príspevku. Väčšina diskutujúcich sa prikláňala k členskému príspevku bez redukcie.

Novozvolený výbor STA sa prvýkrát stretol na rokovaní dňa 3. februára 2023 v sídle asociácie. V zmysle stanov sa uskutočnila voľba funkcionárov STA na obdobie 2023–2026. Za predsedu bol navrhnutý Ing. Miloslav Frankovský, za podpredsedu Ing. František Očkaják a za sekretára Ing. Viktória Chomová. Prítomní členovia výboru jednohlasne potvrdili všetky tri nominácie.

*Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ
predseda Slovenskej tunelárskej asociácie*

**BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ
UVEŘEJNĚNÝCH V TUNELU, ČASOPISU ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE
A SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE ITA-AITES V ROCE 2022
BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED IN THE JOURNAL TUNEL
OF THE CZECH TUNNELING ASSOCIATION AND THE SLOVAK TUNNELING
ASSOCIATION ITA-AITES WITHIN THE YEAR 2022**

BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED	Číslo Issue	Strana Page	BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED	Číslo Issue	Strana Page
1. ÚVODNÍK EDITORIAL					
Ing. Michal Šerák, člen redakční rady	1/2022	1	■ Tunel Prešov, zmeny technického riešenia počas výstavby <i>Prešov Tunnel, Changes in Technical Solution during Construction</i>	1/2022	59
Ing. Tomáš Koranda, předseda představenstva společnosti HOCHTIEF CZ a. s.	1/2022	2	Ing. Miloslav Frankovský, Ing. Adriana Jakubíková, Ing. Roman Šály, Ing. Ján Zajac		
Ing. Radko Bucek Ph.D., generální ředitel Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.	1/2022	3	■ Tunel Šwinoujście – obtiaže súvisiace s geotechnickými podmienkami pri využití bentonitového štítu <i>Šwinoujście Tunnel – Difficulties Related to Geotechnical Conditions when Using a Slurry Shield</i>	2/2022	4
Ing. Soňa Masarovičová, Ph.D., členka redakční rady	2/2022	1	Dipl. Ing. Arthur Göbl, Ing. Lubica Pištanská		
Ing. Pavel Zuzula, konateľ PORR s.r.o. a člen predstavenstva PORR a.s.	2/2022	2	■ Významné zmeny v nadloží historických Vinohradských tunelů <i>Significant Changes in the Overburden of Historic Vinohrady Tunnels</i>	2/2022	26
prof. Ing. Jiří Máca, CSc., děkan Fakulty stavební ČVUT v Praze	2/2022	3	prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.		
Ing. Petr Hybský, člen redakční rady	3/2022	1	■ Portálové úseky dvou bazových železničních tunelů – porovnání geologických podmínek <i>Portal Sections of Two Base Railway Tunnels – Comparison of Geological Conditions</i>	3/2022	4
Ing. Martin Srb, Ph.D., partner a jednatel společnosti 3G Consulting Engineers s.r.o.	3/2022	2	Mgr. Jiří Zmitko, RNDr. Tomáš Svoboda, Ph.D.		
prof. Ing. Martina Peřínková, Ph.D., děkanka Fakulty stavební VŠB – TU Ostrava	3/2022	3	■ Projekt tunelu raženého pomocí Nové rakouské tunelovací metody pro stavbu dálnice v Indickém Himálaji <i>NATM Tunnel Design for Highway Project in Indian Himalaya</i>	3/2022	15
Ing. Vlastimil Horák, člen redakční rady	4/2022	1	Dr. Andreas Goricki		
Mgr. Lucie Bohátková, členka představenstva a obchodní ředitelka SG Geotechnika a.s.	4/2022	2	■ Zmrazování horninového masivu jako pomocné opatření pro ražbu tunelu pod hlavním nádražím v Bernu <i>Artificial Ground Freezing as a Consolidation Measure For Tunnelling under Bern Main Station</i>	3/2022	53
Ing. Luboš Rojko, Ph.D., konateľ spoločnosti GEOCONSULT, spol. s r.o.	4/2022	3	Simon Klösseg M.Sc., EUR ING Michael Müller		
2. PODZEMNÍ URBANISMUS, VÝHLEDOVÉ STAVBY, NORMY UNDERGROUND CITY PLANNING, PROSPECTIVE PROJECTS, STANDARDS			■ Zkušenosti z ražeb v komplikovaných geologických podmínkách v Himálaji – ražba tunelu Rohtang, Indie <i>Experiences during Tunnelling in Extreme Ground Conditions in the Himalayas – Excavation of Rohtang Tunnel, India</i>	4/2022	4
■ Stanice Nové Dvory na nové lince I.D pražského metra <i>Nové Dvory Station on the New Line I.D of the Prague Metro</i>			Ing. Radek Bernard, Ph.D.		
Ing. Petr Makásek, Ph.D., Ing. Aleš Veverka, Ing. Michal Hnilička	1/2022	31	■ Starý tunel císaře Wilhelma – rekonstrukce 130-ročného železničního tunela <i>The Old Emperor Wilhelm Tunnel – Reconstruction of a 130-year-old Railway Tunnel</i>	4/2022	33
■ Stanice Nové Dvory – statický návrh primárního ostění použitím 3D výpočtu <i>Nové Dvory Station – Structural Design for Primary Lining Using 3D Computation</i>			Dipl.-Ing. Gernot Jedlitschka, Ing. Luboš Rojko, Ph.D.		
Ing. Katarína Sobolová, Ing. Věroslav Hrubý, Ph.D.	1/2022	40	4. METRO SUBWAY		
■ Návrh Hosínského a Chotýčanského tunelu s důrazem na bezpečnostní řešení <i>Design of Hosín and Chotýčany Tunnel with Emphasis on Safety Solutions</i>			■ Doplnkový geologický průzkum metra D v Praze – úsek VO-OL <i>Complementary Geological Survey of Metro D in Prague – Section VO-OL</i>	1/2022	4
Ing. Michal Hnilička, doc. Ing. Petr Kučera, Ph.D.	1/2022	49	Ing. Radek Kozubík, Ing. Štěpán Obrhel, Ing. Martin Špeta		
■ Súčasná výstavba metra vo Viedni – výzvy súvisiace s výstavbou podzemnej dráhy v mestách <i>Vienna Metro Current Construction – Challenges of Metro Construction in Urban Areas</i>			■ Výstavba bezbariérového zprístupnění stanice metra Karlovo náměstí <i>Construction of Barrier-Free Access to Karlovo Náměstí Metro Station</i>	1/2022	15
Dipl. Ing. Harald Glösl, Ing. Lubica Pištanská	2/2022	11	Ing. Petr Luka, Ing. Martin Špeta, Ing. Radek Kozubík		
■ Portálové úseky dvou bazových železničních tunelů – porovnání geologických podmínek <i>Portal Sections of Two Base Railway Tunnels – Comparison of Geological Conditions</i>			■ Metro „Cityring“ v Kodani – úsek „Branch off to Sydhavn“ <i>Copenhagen Metro Cityring – Branch off to Sydhavn</i>	1/2022	26
Mgr. Jiří Zmitko, RNDr. Tomáš Svoboda, Ph.D.	3/2022	4	Ing. Barbora Pišová, Ph.D.		
3. DOPRAVNÍ STAVBY TRANSPORT-RELATED PROJECTS					
■ Návrh Hosínského a Chotýčanského tunelu s důrazem na bezpečnostní řešení <i>Design of Hosín and Chotýčany Tunnel with Emphasis on Safety Solutions</i>					
Ing. Michal Hnilička, doc. Ing. Petr Kučera, Ph.D.	1/2022	49			

BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ
BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHEDČíslo Strana
Issue Page

- Stanice Nové Dvory na nové lince I.D pražského metra
Nové Dvory Station on the New Line I.D of the Prague Metro
Ing. Petr Makásek, Ph.D., Ing. Aleš Veverka,
Ing. Michal Hnilička 1/2022 31
- Stanice Nové Dvory – statický návrh primárního ostění použitím 3D výpočtu
Nové Dvory Station – Structural Design for Primary Lining Using 3D Computation
Ing. Katarína Sobolová, Ing. Věroslav Hrubý, Ph.D. 1/2022 40
- Súčasná výstavba metra vo Viedni – výzvy súvisiace s výstavbou podzemnej dráhy v mestách
Vienna Metro Current Construction – Challenges of Metro Construction in Urban Areas
Dipl. Ing. Harald Glösl, Ing. Lubica Pišťanská 2/2022 11
- Ražby metra ve Stockholmu, tunel Järfälla – sekce Landingsbanan
Driving Metro Tunnels in Stockholm, Järfälla Tunnel – Landingsbanan Section
Ing. Jiří Horčíčka 3/2022 40
- Dozor při ražbě stanic nové trasy metra Eglinton v Torontu
Supervision during the Excavation of the New Eglinton Subway Line Stations in Toronto
Ing. Radek Bernard, Ph.D. 4/2022 22

5. KANALIZACE, KOLEKTORY, MALÉ PROFILY
SEWERAGE, UTILITY TUNNELS, SMALL PROFILE TUNNELS

- Inovácie použité pri navrhovaní a výstavbe protipovodňového tunela Arroyo Vega
Innovations Applied to the Design and Construction of the Arroyo Vega Flood Prevention Tunnel
Augustín Juan Guastavino, Bruno A. Vicente, R. Solá 4/2022 42

6. SANACE, REKONSTRUKCE, ÚDRŽBA, OPRAVY
RECONSTRUCTION, REINSTATING, MAINTENANCE, REPARATION

- Starý tunel cisára Wilhelma – rekonštrukcia 130-ročného železničného tunela
The Old Emperor Wilhelm Tunnel – Reconstruction of a 130-Year-Old Railway Tunnel
Dipl.-Ing. Gernot Jedlitschka,
Ing. Luboš Rojko, PhD. 4/2022 33

7. TEORIE, VÝZKUM, SLEDOVÁNÍ
THEORY, RESEARCH, MONITORING

- Doplnkový geologický průzkum metra D v Praze – úsek VO-OL
Complementary Geological Survey of Metro D in Prague – Section VO-OL
Ing. Radek Kozubík, Ing. Štěpán Obrhel,
Ing. Martin Špeta 1/2022 4
- Stanice Nové Dvory – statický návrh primárního ostění použitím 3D výpočtu
Nové Dvory Station – Structural Design for Primary Lining Using 3D Computation
Ing. Katarína Sobolová, Ing. Věroslav Hrubý, Ph.D. 1/2022 40
- Prečerpávacía stanica Musaimmeer s odtokovým tunelom – využitie metódy BIM pri realizácii veľkých projektov
Musaimmeer Pumping Station with Outfall Tunnel – Use of the BIM Method during the Construction of Large Projects
Ing. Pavel Zuzula, Ing. Lubica Pišťanská 2/2022 19
- Významné zmeny v nadloží historických Vínhradských tunelů
Significant Changes in the Overburden of Historic Vinehradny Tunnels
prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. 2/2022 26
- Odezva horninového masivu při použití ekvivalentních podmínek porušení v analýze MKP
Rock Mass Response using Equivalent Failure Criteria in FEM Analysis
Ing. Tereza Žalská, prof. Ing. Michal Šejnoha Ph.D. 2/2022 34

BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ
BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHEDČíslo Strana
Issue Page

- Analýza z diagnostických dat řídicích systémů tunelových staveb
Analysis of Diagnostic Data of Tunnel Structures Control Systems
Ing. Jiří Štefan, doc. Ing. Tomáš Tichý, Ph.D., MBA,
Ing. Jiří Brož, MSc. 2/2022 42
- Portálové úseky dvou bázových železničních tunelů – porovnání geologických podmínek
Portal Sections of Two Base Railway Tunnels – Comparison of Geological Conditions
Mgr. Jiří Zmítka, RNDr. Tomáš Svoboda, Ph.D. 3/2022 4
- Vliv průřezu tunelu na rychlost postupu ražeb a náklady
The Influence of the Tunnel Cross Section on the Advance Rate and Costs
Dr. Dipl.-Ing. Peter Johann Sellner,
Dipl.-Ing. Günter Strappler, Klaus Erkart 3/2022 20
- Vyhodnocení zón indukovaných ražbou díla v pevných horninách s využitím matematického modelování
Evaluation of Excavation Damage Zones in Solid Rocks using Mathematical Modeling
doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.,
Ing. Lukáš Ďuriš, Ph.D. 3/2022 29
- Analytický výpočet poklesu nezpevněného zásypu v likvidovaných důlních jamách
Analytical Calculation of the Subsidence of Unconsolidated Backfill of Liquidated Mine Shafts
doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc. 3/2022 35
- Výzkum hydraulických a migračních vlastností krystalinických hornin v České republice
Investigation into Hydraulic and Migration Properties of Crystalline Rocks in the Czech Republic
RNDr. Karel Sosna, Ph.D., Mgr. Milan Zuna, Ph.D.,
Ing. Libor Gvoždík, Mgr. Ondřej Švagera,
Ing. Jan Smutek, Ph.D. 4/2022 14
- Vlastnosti horninového masivu nezbytné pro návrh podzemních krytů
Rock Mass Properties Required for Design of Underground Shelters
Ing. Veronika Pavelcová, Ing. Alexander Kravcov, Ph.D.,
Ing. Petr Kubeček, Ing. Jiří Štoller, Ph.D. 4/2022 54

9. RŮZNÉ
MISCELLANEOUS

- Výstavba bezbariérového zpřístupnění stanice metra Karlovo náměstí
Construction of Barrier-Free Access to Karlovo Náměstí Metro Station
Ing. Petr Luka, Ing. Martin Špeta,
Ing. Radek Kozubík 1/2022 15
- Návrh Hosínského a Chotýčanského tunelů s důrazem na bezpečnostní řešení
Design of Hosín and Chotýčany Tunnel with Emphasis on Safety Solutions
Ing. Michal Hnilička, doc. Ing. Petr Kučera, Ph.D. 1/2022 49
- Súčasná výstavba metra vo Viedni – výzvy súvisiace s výstavbou podzemnej dráhy v mestách
Vienna Metro Current Construction – Challenges of Metro Construction in Urban Areas
Dipl. Ing. Harald Glösl, Ing. Lubica Pišťanská 2/2022 11
- Prečerpávacía stanica Musaimmeer s odtokovým tunelom – využitie metódy BIM pri realizácii veľkých projektov
Musaimmeer Pumping Station with Outfall Tunnel – Use of the BIM Method during the Construction of Large Projects
Ing. Pavel Zuzula, Ing. Lubica Pišťanská 2/2022 19
- Významné zmeny v nadloží historických Vínhradských tunelů
Significant Changes in the Overburden of Historic Vinehradny Tunnels
prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. 2/2022 26

BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED	Číslo Issue	Strana Page	BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED	Číslo Issue	Strana Page
■ Vliv průřezu tunelu na rychlost postupu ražeb a náklady <i>The Influence of the Tunnel Cross Section on the Advance Rate and Costs</i> Dr. Dipl.-Ing. Peter Johann Sellner, Dipl.-Ing. Günter Strappler, Klaus Erkurt	3/2022	20	■ Výstavba tunelů na rychlostní silnici M85 V. etapa, Bécsi Domb Maďarsko <i>Construction of Tunnels on Fast Highway M85 Vth Phase, Bécsi Domb, Hungary</i> Ing. Jan Frantl, Ing. Gergely Bölcskei	4/2022	73
■ Vyhodnocení zón indukovaných ražbou díla v pevných horninách s využitím matematického modelování <i>Evaluation of Excavation Damage Zones in Solid Rocks Using Mathematical Modeling</i> doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D., Ing. Lukáš Ďuriš, Ph.D.	3/2022	29	13. AKTUALITY Z PODZEMNÍCH STAVEB V ČESKÉ A SLOVENSKÉ REPUBLICE CURRENT NEWS FROM THE CZECH AND SLOVAK UNDERGROUND CONSTRUCTION		
■ Analytický výpočet poklesu neuzpevněného zásypu v likvidovaných důlních jamách <i>Analytical Calculation of the Subsidence of Unconsolidated Backfill of Liquidated Mine Shafts</i> doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc.	3/2022	35	Česká republika The Czech Republic		
■ Výzkum hydraulických a migračních vlastností krystalinických hornin v České republice <i>Investigation into Hydraulic and Migration Properties of Crystalline Rocks in the Czech Republic</i> RNDr. Karel Sosna, Ph.D., Mgr. Milan Zuna, Ph.D., Ing. Libor Gvoždík, Mgr. Ondřej Švagera, Ing. Jan Smutek, Ph.D.	4/2022	14	■ Metro D – nová linka pražského metra <i>Metro D – New Line of Prague Metro</i> Ing. Boris Šebesta, Ing. Michal Šerák	1/2022	71
■ Dozor při ražbě stanic nové trasy metra Eglinton v Torontu <i>Supervision during the Excavation of the New Eglinton Subway Line Stations in Toronto</i> Ing. Radek Bernard, Ph.D.	4/2022	22	■ Jednokolejný tunel Blanenský č. 8/2, S.E.Č. 226 <i>Blansko Single-Track Tunnel No. 8/2, REG. No. 226</i> Ing. Tomáš Just	1/2022	73
■ Vlastnosti horninového masivu nezbytné pro návrh podzemních krytů <i>Rock Mass Properties Required for Design of Underground Shelters</i> Ing. Veronika Pavelcová, Ing. Alexander Kravcov, Ph.D., Ing. Petr Kubeček, Ing. Jiří Štoller, Ph.D.	4/2022	54	■ Stavba I/42 Brno – VMO Žabovřeská I – Etapa II <i>Project I/42 Brno – LCCR Žabovřeská I – Stage II</i> Ing. Jan Frantl, Ing. Andrej Korba	1/2022	74
11. TECHNOLOGIE EQUIPMENT			■ Železniční tunel Zvěrotice <i>Zvěrotice Rail Tunnel</i> Ing. Libor Mařík	1/2022	75
■ Tunel Prešov, zmeny technického riešenia počas výstavby <i>Prešov Tunnel, Changes in Technical Solution during Construction</i> Ing. Miloš Frankovský, Ing. Adriana Jakubíková, Ing. Roman Šály, Ing. Ján Zajac	1/2022	59	Slovenská republika The Slovak Republic		
■ Analýza z diagnostických dat řídicích systémů tunelových staveb <i>Analysis of Diagnostic Data of Tunnel Structures Control Systems</i> Ing. Jiří Štefan, doc. Ing. Tomáš Tichý, Ph.D., MBA, Ing. Jiří Brož, MSc.	2/2022	42	■ Tunely na diaľničnej sieti <i>Tunnels on Motorway Network</i> Tunel Bikoš <i>Bikoš Tunnel</i> Tunel Čerbať <i>Čerbať Tunnel</i> Tunel Višňové <i>Višňové Tunnel</i> Ing. Miloš Frankovský, Ing. Ivan Michale, Ing. Vladimír Kotrík, Ing. Ján Kušnír	1/2022	76
■ Zmrazování horninového masivu jako pomocné opatření pro ražbu tunelu pod hlavním nádražím v Bernu <i>Artificial Ground Freezing as a Consolidation Measure for Tunnelling under Bern Main Station</i> Simon Klösger M.Sc., EUR ING Michael Müller	3/2022	53	■ Tunely na železničnej sieti <i>Tunnels on Railway Network</i> Tunel Milochoch <i>Milochov Tunnel</i> Ing. Miloš Frankovský, Ing. Ivan Michale, Ing. Vladimír Kotrík, Ing. Ján Kušnír	1/2022	79
12. ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB THE WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS			Česká republika The Czech Republic		
■ Mozaika ze světa podzemních staveb Ing. Miloš Frankovský	1/2022	70	■ Metro D – nová linka pražského metra <i>Metro D – New Line of Prague Metro</i> Ing. Boris Šebesta, Ing. Michal Šerák	2/2022	57
	2/2022	54	■ Železniční tunel Zvěrotice <i>Zvěrotice Rail Tunnel</i> Ing. Libor Mařík	2/2022	58
	3/2022	60	Slovenská republika The Slovak Republic		
	4/2022	72	■ Tunely na diaľničnej sieti <i>Tunnels on Motorway Network</i> Tunel Bikoš <i>Bikoš Tunnel</i> Tunel Čerbať <i>Čerbať Tunnel</i> Tunel Višňové <i>Višňové Tunnel</i> Ing. Miloš Frankovský, Ing. Ivan Michale, Ing. Vladimír Kotrík	2/2022	60
■ Problémy s tunelovým převedením silnice A303 oblasti světového kulturního dědictví Stonehenge <i>Problems with Tunnel Diversion of Road A303 across Stonehenge World Cultural Heritage Area</i> prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.	2/2022	54	Česká republika The Czech Republic		
			■ Metro D – nová linka pražského metra <i>Metro D – New Line of Prague Metro</i> Ing. Boris Šebesta, Ing. Michal Šerák	3/2022	63
			■ Nové železniční tunely na IV. železničním koridoru <i>The Railway Tunnels on the Railway Corridor IV</i> Ing. Tomáš Just	3/2022	65

BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ
BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHEDČíslo Strana
Issue Page

- Jednokolejný tunel Blanenský č. 8/2, S.E.Č. 226
Blansko Single-Track Tunnel No. 8/2, REG. No. 226
Ing. Tomáš Just 3/2022 65
- Železniční tunel Zvěrotice
Zvěrotice Rail Tunnel
Ing. Libor Mařík 3/2022 67
- Slovenská republika**
The Slovak Republic
- Tunely na diaľničnej sieti
Tunnels on Motorway Network
Tunel Bikoš 3/2022 68
Bikoš Tunnel
Tunel Čerbať 3/2022 69
Čerbať Tunnel
Tunel Višňové 3/2022 69
Višňové Tunnel
Ing. Miloslav Frankovský, Ing. Ivan Michale,
Ing. Vladimír Kotrčík
- Česká republika**
The Czech Republic
- Metro D – nová linka pražského metra
Metro D – New Line of Prague Metro
Ing. Boris Šebesta, Ing. Michal Šerák 4/2022 79
- Slovenská republika**
The Slovak Republic
- Tunely na diaľničnej sieti
Tunnels on Motorway Network
Tunel Bikoš 4/2022 81
Bikoš Tunnel
Tunel Čerbať 4/2022 81
Čerbať Tunnel
Tunel Višňové 4/2022 82
Višňové Tunnel
Ing. Miloslav Frankovský, Ing. Ivan Michale,
Ing. Róbert Zwilling
- 14. ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ**
NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCE
- Tunelářské odpoledne 1/2022
Tunnel Afternoon 1/2022
Ing. Markéta Prušková, Ph.D. 2/2022 55
- Swiss Tunnel Congres 2022 v Luzernu
Swiss Tunnel Congres 2022 in Lutzern
Ing. Vlastimil Horák 3/2022 61
- Tunelářské odpoledne 2/2022
Tunnel Afternoon 2/2022
Ing. Markéta Prušková, Ph.D. 3/2022 62
- Vzdělávací projekt pro přípravu mladých odborníků
v oblasti silničních tunelů
*Educational Project for the Preparation of Young
Experts in the Field of Road Tunnels*
doc. RNDr. Eva Hruběšová 3/2022 63
- WTC 2022 v Kodani
WTC 2022 in Copenhagen
Dr.-Ing. Zdeněk Žižka 4/2022 75
- Tunelářské odpoledne 3/2022
Tunnel Afternoon 3/2022
Ing. Markéta Prušková, Ph.D. 4/2022 76
- Konference Geotechnika 2022
Geotechnical Conference 2022
doc. RNDr. Eva Hruběšová 4/2022 77
- XVI. hydrogeologický
a IV. inženýrsko-geologický kongres
*XVIth hydrogeological
and IVth engineering geological Congress*
Tomáš Ebermann 4/2022 78
- Konference o bezvýkopových technologiích
Trenchless Technology Conference
Ing. Jan Frantl 4/2022 78

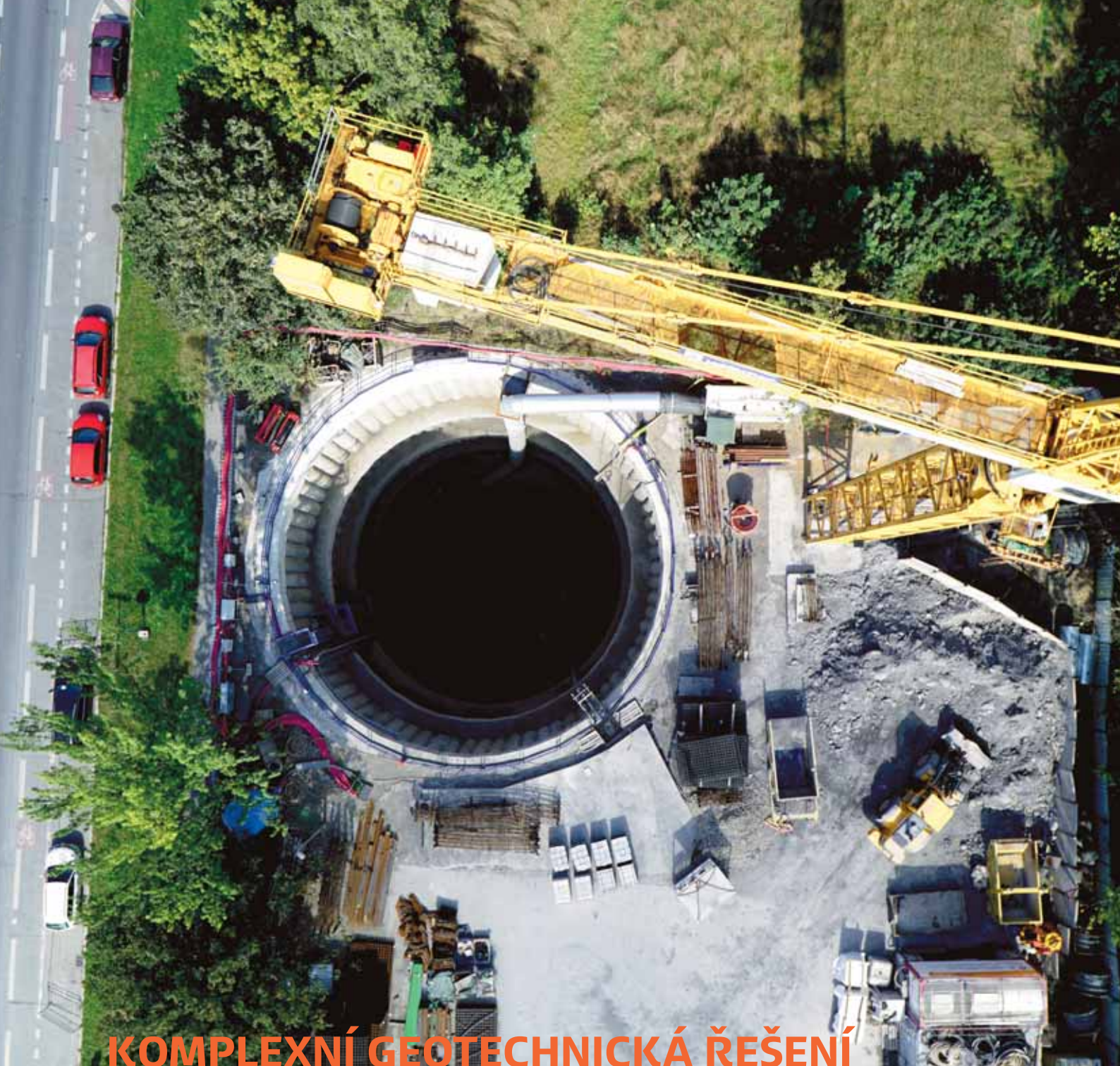
BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ
BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHEDČíslo Strana
Issue Page

- 15. ZPRÁVODAJSTVÍ ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ
ASOCIACE ITA-AITES
CZECH TUNNELLING ASSOCIATION
ITA-AITES REPORTS**
- Valné shromáždění CzTA ITA-AITES
General Assembly of CzTA ITA-AITES
Ing. Markéta Prušková 3/2022 77
- Podzemní stavby Praha 2023
Underground Construction Prague 2023
doc. Ing. Alexandr Butovič, Ph.D.,
prof. Ing. Matouš Hilar, Ph.D. 4/2022 85
- 16. SPRÁVODAJSTVO SLOVENSKEJ
TUNELÁŘSKEJ ASOCIÁCIE ITA-AITES
ITA-ITES SLOVAK TUNNELLING
ASSOCIATION REPORT**
- Nové technické podmienky TP 099 Protipožiarna
bezpečnosť cestných tunelov
*The New Technical Specification TP 009 Fire Safety
of Road Tunnels*
Ing. Miroslav Frankovský 3/2022 78
- 17. VÝROČÍ
ANNIVERSARIES**
- K významným narodeninám Ing. Ivana Hrdina
To Significant Birthday of Ing. Ivan Hrdina
prof. Ing. Jiří Barták, Dr.Sc. 1/2022 84
- Pätadevadesät let Ing. Karla Závory
Ninety Fifth Anniversary of Karel Závora Birth
Ing. Miroslav Novák 2/2022 66
- 85. narodeniny Ing. Jozefa Frankovského
85th Anniversary of Jozef Frankovský Birth
Viktória Chomová 2/2022 68
- Ing. Petr Vozarik osmdesátníkem
Ing. Petr Vozarik Octogenarian
Ing. Jiří Šach 2/2022 69
- prof. Ing. Pavel Příbyl CSc., pätasedmdesátníkem
prof. Ing. Pavel Příbyl CSc., Seventy-Five Years Old
Ing. Jiří Štefan 3/2022 76
- 18. ROZLOUČENÍ
LAST FAREWELL**
- Vzpomínáme a děkujeme!
We Remember and Thank You!
Metrostav a.s. 2/2022 70
- 19. Z HISTORIE PODZEMNÍCH STAVEB
FROM THE HISTORY OF UNDERGROUND
CONSTRUCTIONS**
- Pohlednice s železničními tunely v Rakousku
– Tunely na Mariazellerbahn a pár obrázků navíc
*Picture Postcards with Railway Tunnels in Austria
– Tunnels on Mariazellerbahn and Several
Pictures in Addition*
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc., Ing. Milan Majer,
Ing. Richard Svoboda, Ph.D. 1/2022 79
- Pohlednice s tunely za velkou louží
Picture Postcards with Tunnels beyond the Ocean
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.,
Ing. Milan Majer, Ing. Richard Svoboda, Ph.D.,
Bc. Jaroslav Glisník 2/2022 62
- Tunely na poštovních celinách, celistvostech,
obálkách prvního dne a mincovních dopisech
*Tunnels on Postal Stationery, Full Covers,
First Day Covers and Mint Letter*
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc., Ing. Milan Majer,
Ing. Richard Svoboda, Ph.D. 3/2022 70
- Korespondenční lístek ze stavby Karawankenbahn
*Correspondence Card from the Karawankenbahn
Construction*
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc. 4/2022 84

JMENNÝ REJSTŘÍK AUTORŮ STATÍ ČASOPISU TUNEL ZA ROK 2021


NAME INDEX OF AUTORS OF ARTICLES PUBLISHED IN THE TUNEL JOURNAL IN THE YEAR 2021

Jméno: Name:	Číslo: Number:	Strana: Page:	Jméno: Name:	Číslo: Number:	Strana: Page:	Jméno: Name:	Číslo: Number:	Strana: Page:
B			J			R		
Barták, Jiří	1/2022	84	Jakubíková, Adriana	1/2022	59	Rojko, Luboš	4/2022	3, 33
	2/2022	26, 54	Jedlitschka, Gernot	4/2022	33			
Bernard, Radek	4/2022	4, 22	Just, Tomáš	1/2022	73	S		
Bohátková, Lucie	4/2022	2		3/2022	65	Sellner, Peter Johann	3/2022	20
Bölcskei, Gergeli	4/2022	73	K			Smutek, Jan	4/2022	14
Brož, Jiří	2/2022	42	Klössges, Simon	3/2022	53	Sobolová, Katarína	1/2022	40
Bucek, Radko	1/2022	3	Koranda, Tomáš	1/2022	2	Solá, R.	4/2022	42
Butovič, Alexandr	4/2022	85	Korba, Andrej	1/2022	74	Sosna, Karel	4/2022	14
D			Kotrčík, Vladimír	1/2022	76	Strappler, Günter	3/2022	20
Đuriš, Lukáš	3/2022	29		2/2022	60	Svoboda, Richard	1/2022	79
E				3/2022	68		2/2022	62
Ebermann, Tomáš	1/2022		Kozubík, Radek	1/2022	4, 15	Svoboda, Tomáš	3/2022	70
	4/2022	78	Kravcov, Alexander	4/2022	54		3/2022	4
Erkurt, Klaus	3/2022	20	Kubeček, Petr	4/2022	54	Š		
F			Kučera, Petr	1/2022	49	Šach, Jiří	2/2022	69
Frankovský, Miloslav	1/2022	59, 76	Kušnír, Ján	1/2022	76	Šály, Roman	1/2022	59
	2/2022	60	L			Šebesta, Boris	1/2022	71
	3/2022	68, 78	Luka, Petr	1/2022	15		2/2022	57
	4/2022	81					3/2022	63
Frantl, Jan	1/2022	74	M			Šejnoha, Michal	4/2022	79
	4/2022	73, 78	Máca, Jiří	2/2022	3	Šerák, Michal	1/2022	1, 71
G			Majer, Milan	2/2022	62		2/2022	57
Glisník, Jaroslav	2/2022	62	Makásek, Petr	3/2022	70	Špeta, Martin	4/2022	79
Göbl, Arthur	2/2022	4	Mařík, Libor	1/2022	31	Štefan, Jiří	1/2022	4, 15
Glösl, Harad	2/2022	11		1/2022	75	Štoller, Jiří	2/2022	42
Goricki, Andreas	3/2022	15	Masarovičová, Soňa	2/2022	58	Švagera, Ondřej	3/2022	76
Guastavino,			Michale, Ivan	3/2022	67		4/2022	14
Augustin Juan	4/2022	42	Müller, Michael	1/2022	76	T		
Gvoždík, Libor	4/2022	14		2/2022	60	Tichý, Tomáš	2/2022	42
H				3/2022	68			
Hilar, Matouš	4/2022	85		4/2022	81	V		
Hnilička, Michal	1/2022	31, 49	N			Veverka, Aleš	1/2022	31
Horák, Vladislav	1/2022	79	Novák, Miroslav	2/2022	66	Vicente, Bruno A.	4/2022	42
	2/2022	62	Novotný, Miloslav	1/2022	70	Vojtasík, Karel	3/2022	35
	3/2022	70		2/2022	54	Z		
	4/2022	84		3/2022	60	Zajac, Ján	1/2022	59
Horák, Vlastimil	3/2022	61	O	4/2022	72	Zmítko, Jiří	3/2022	4
	4/2022	1	Obrhel, Štěpán	1/2022	4	Zuna, Milan	4/2022	14
Horčička, Jiří	3/2022	40				Zuzula, Pavel	2/2022	2, 19
Hrubešová, Eva	3/2022	29, 63	P			Zwilling, Röbert	4/2022	81
	4/2022	77	Pavelcová, Veronika	4/2022	54	Ž		
Hrubý, Věroslav	1/2022	40	Píšová, Barbora	1/2022	26	Žalská, Tereza	2/2022	34
CH			Pišťanská, Lubica	2/2022	4, 11, 19			
Chómová, Viktória	2/2022	68	Prušková, Markéta	2/2022	55			
I				3/2022	62, 77			
Ivor, Štefan	4/2020	14		4/2022	76			



KOMPLEXNÍ GEOTECHNICKÁ ŘEŠENÍ

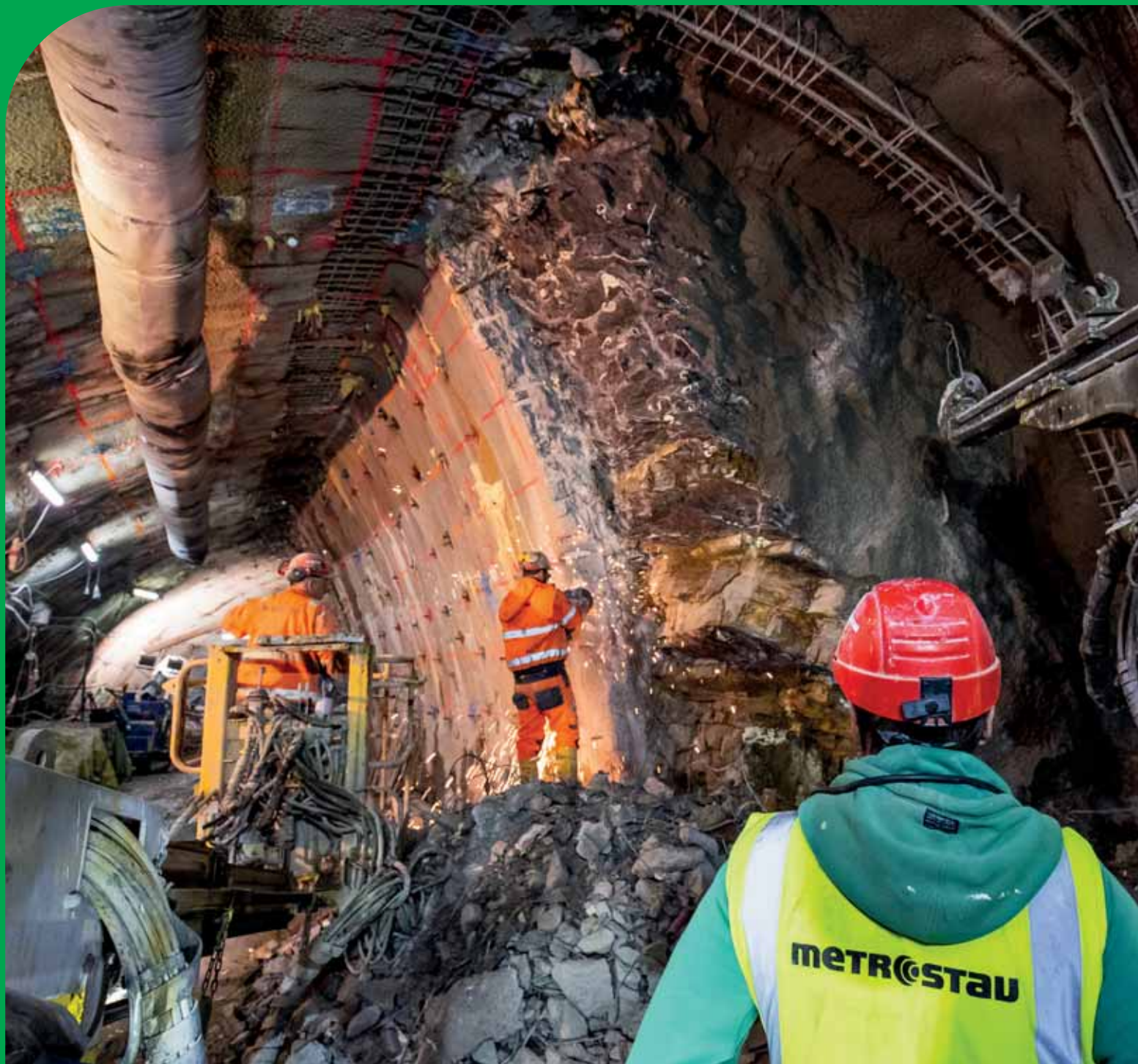
COMPREHENSIVE GEOTECHNICAL SOLUTIONS

Dodáváme komplexní geotechnická řešení pro realizaci rozsáhlých podzemních, dopravních a vodohospodářských projektů již od roku 1926. Specializujeme se zejména na průzkumy, poradenství, supervize, zkušebnictví, monitoring a analýzy geotechnických rizik. Jedinečná skladba oborů, vlastní kapacity v geotechnickém monitoringu staveb, laboratorním a terénním zkušebnictví s největší kapacitou prováděných akreditovaných zkoušek v Česku a výsledky vlastního aplikovaného výzkumu nám umožňují řešit nejnáročnější úkoly v oboru po celém světě. Působíme také na Slovensku prostřednictvím společnosti  **GEOFOS**

We deliver complete geotechnical solutions to build extensive underground, infrastructure and water management structures since 1926. We specialize in surveys, consulting, supervising, testing, monitoring and analysing of geotechnical risks. The unique reach of our specialization, comprehensive in-house resources in geotechnical monitoring, laboratory and field testing with the largest capacity of accredited tests in the Czech Republic, and results of our applied research allow us to solve the most challenging tasks in the field worldwide. We operate also in Slovakia through  **GEOFOS**

www.geotechnika.cz
www.geofos.sk

 **SG GEOTECHNIKA.**



Je na čem stavět

Náš úspěch stojí na odbornosti, nasazení a dovednostech stovek lidí různých profesí. Na jejich solidnosti, spolehlivosti a loajalitě. Na odvaze inovovat a schopnosti využívat nové technologie. Máme na čem stavět.

www.metrostav.cz



metROSTAV