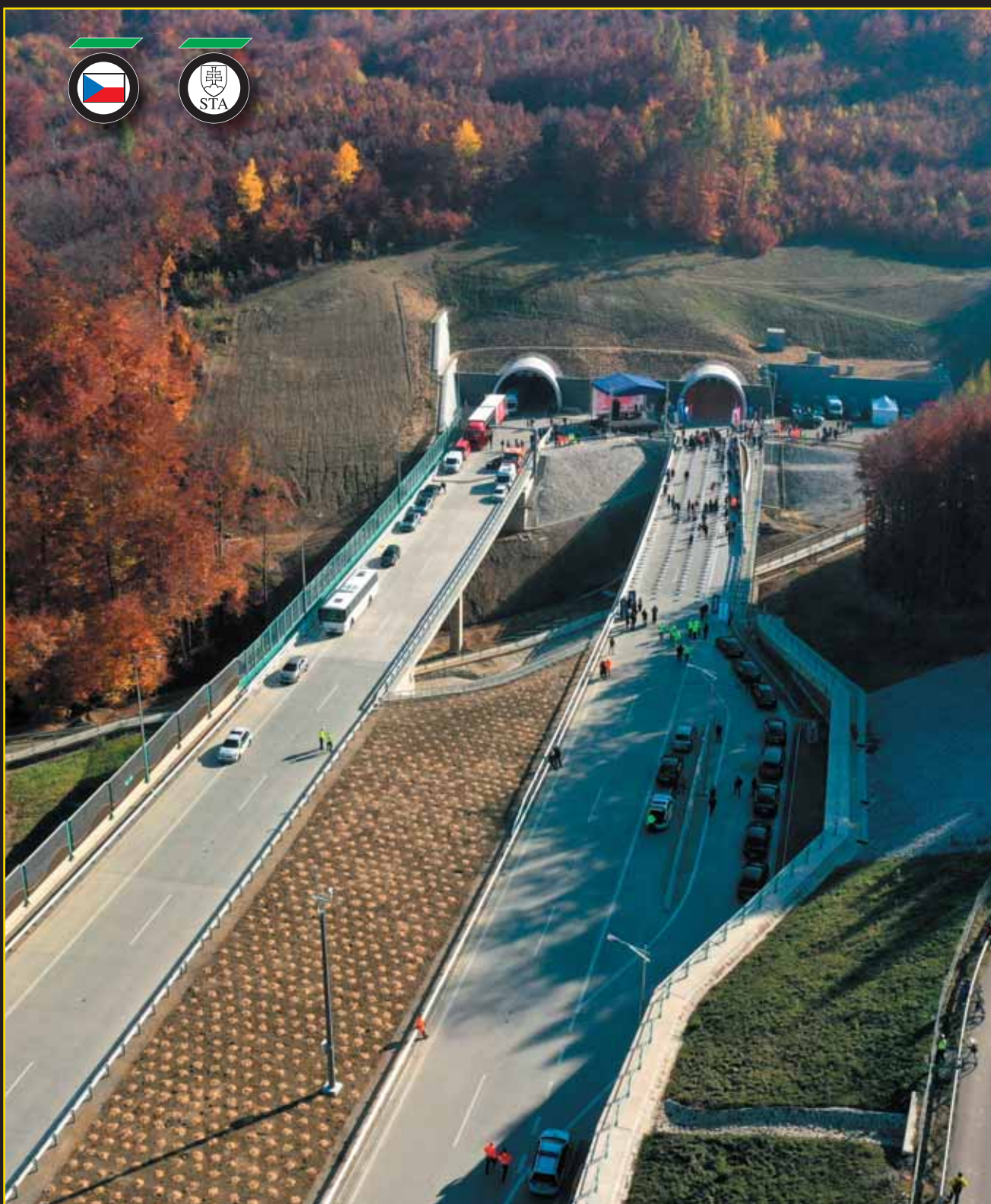


Tu nel

č. 1
2022

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

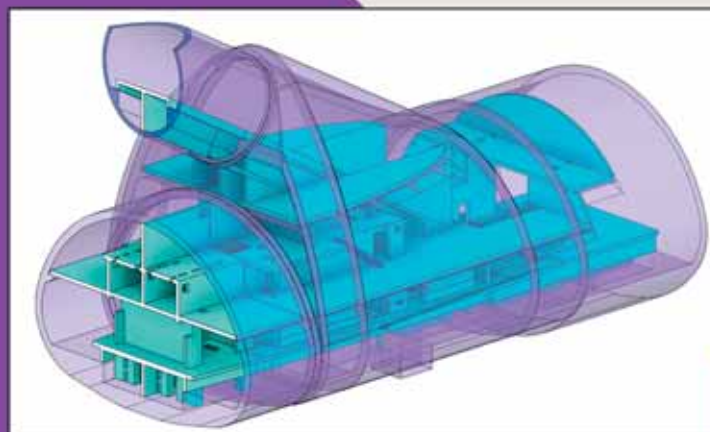
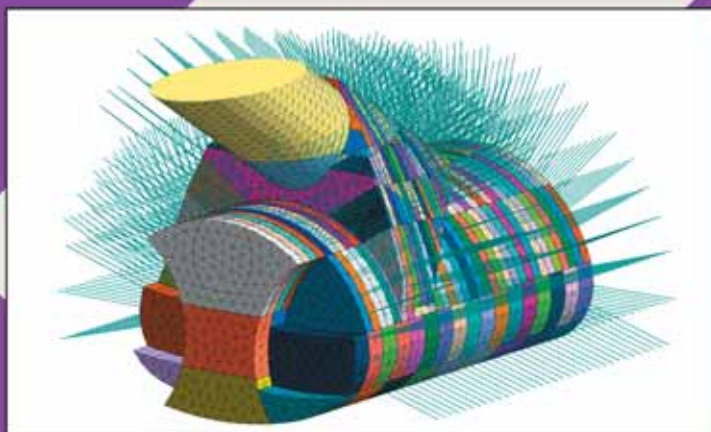


Přidejte se k naší celosvětové síti expertů

Na českém trhu působíme již skoro 30 let. Náš tým řeší projekty zajímavých geotechnických konstrukcí i rozsáhlých tunelových staveb. Do každého projektu přinášíme kromě tradičních postupů také zkušenosti a nové přístupy získané na projektech po celém světě. Mott MacDonald CZ hledá do oddělení Tunelů a Geotechniky zkušené projektanty i čerstvé absolventy se zájmem nejen o podzemní stavby, geotechniku a speciální zakládání.

Opening opportunities with connected thinking.

Kontakt: **Martina Sedlmeierová**
+420 221 412 869
martina.sedlmeierova@mottmac.com



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:	
Ing. Michal Šerák, člen redakční rady	1
Úvodník:	
Ing. Tomáš Koranda, předseda představenstva společnosti HOCHTIEF CZ a. s.	2
Ing. Radko Bucek Ph.D., generální ředitel Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.	3
Doplňkový geologický průzkum metra D v Praze – úsek VO-OL	
Ing. Radek Kozubík, Ing. Štěpán Obrhel, Ing. Martin Špeta, HOCHTIEF CZ a. s.	4
Výstavba bezbariérového zpřístupnění stanice metra Karlovo náměstí	
Ing. Petr Luka, Ing. Martin Špeta, Ing. Radek Kozubík, HOCHTIEF CZ a. s.	15
Metro „Cityring“ v Kodani – úsek „Branch off to Sydhavn“	
Ing. Barbora Pišová, Ph.D., HOCHTIEF Infrastructure GmbH	26
Stanice Nové Dvory na nové lince I.D pražského metra	
Ing. Petr Makásek, Ph.D., Ing. Aleš Veverka, Ing. Michal Hnilička, Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.	31
Stanice Nové Dvory – statický návrh primárního ostění použitím 3D výpočtu	
Ing. Katarína Sobolová, Ing. Věroslav Hrubý, Ph.D., Mott MacDonald CZ, spol. s r. o.	40
Návrh Hosinského a Chotýčanského tunelu s důrazem na bezpečnostní řešení	
Ing. Michal Hnilička, Mott MacDonald CZ, spol. s r.o., doc. Ing. Petr Kučera, Ph.D., Fakulta bezpečnostního inženýrství VŠB-TUO	49
Tunel Prešov, zmeny technického riešenia počas výstavby	
Ing. Miloš Frankovský, Ing. Adriana Jakubíková, Ing. Roman Šály, Ing. Ján Zajac, DOPRAVOPROJEKT, a. s.	59
Fotoreportáž zo slávnostného otvorenia diaľnice D1 Prešov západ – Prešov juh s tunelom Prešov dňa 28. októbra 2021	68
Ze světa podzemních staveb	70
Aktuality z podzemních staveb v České a Slovenské republice	71
Z historie podzemních staveb	79
Výročí	84
Bibliografie	86

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. Miloš Frankovský – STA
Ing. Jan Frantl – Subterra a.s.
Bc. MSc. Michal Froněk CEng., MICE, DIC – Správa železnic s.o.
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 Hrušková, Ph.D. – VŠB-TUO Ostrava
RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D. – PUDIS a.s.
Ing. Viktória Chomová – STA
Ing. Otakar Krásný – GeoTec-GS, a.s.
Ing. Ján Kušník – STA
Ing. Libor Mařík – SAGASTA s.r.o.
Ing. Soňa Masarovičová – 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.
Ing. Michal Šerák – Inženýring dopravních staveb a.s.

Vydavatel

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

Distribuce

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

Redakce

Koželužská 2450/4, 180 00 Praha 8 – Libeň, tel.: +420 702 062 610
e-mail: pruskova@ita-aites.cz
web: http://www.ita-aites.cz
Vedoucí redaktor: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.
Odborní redaktoři: prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., doc. Ing. Dr. Jan Pruška,
Ing. Pavel Šourek, RNDr., Radovan Chmelař, Ph.D.,
Ing. Jozef Frankovský
Grafické zpracování: Ing. Jiří Šilar DTP, Na Záměšli 502/3, 150 00 Praha 5
Tisk: SERIFA, s.r.o., Jionická 804/80, 158 00 Praha 5
Foto na obálce: Pohled na západní portál tunela Prešov před slávnostným
otvorením diaľnice (foto archiv Doprastav, a.s.)

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

Contents

Editorials:	
Ing. Michal Šerák, Member of the Editorial Board	1
Ing. Tomáš Koranda, Chairman of the Board of Directors, HOCHTIEF CZ a. s.	2
Ing. Radko Bucek Ph.D., General Director of Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.	3
Complementary Geological Survey of Metro D in Prague – Section VO-OL	
Ing. Radek Kozubík, Ing. Štěpán Obrhel, Ing. Martin Špeta, HOCHTIEF CZ a. s.	4
Construction of Barrier-Free Access to Karlovo Náměstí Metro Station	
Ing. Petr Luka, Ing. Martin Špeta, Ing. Radek Kozubík, HOCHTIEF CZ a. s.	15
Copenhagen Metro Cityring – Branch off to Sydhavn	
Ing. Barbora Pišová, Ph.D., HOCHTIEF Infrastructure GmbH	26
Nové Dvory Station on the New Line I.D of the Prague Metro	
Ing. Petr Makásek, Ph.D., Ing. Aleš Veverka, Ing. Michal Hnilička, Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.	31
Nové Dvory Station – Structural Design for Primary Lining Using 3D Computation	
Ing. Katarína Sobolová, Ing. Věroslav Hrubý, Ph.D., Mott MacDonald CZ, spol. s r. o.	40
Design of Hosín and Chotýčany Tunnel with Emphasis on Safety Solutions	
Ing. Michal Hnilička, Mott MacDonald CZ, spol. s r.o., doc. Ing. Petr Kučera, Ph.D., Fakulta bezpečnostního inženýrství VŠB-TUO	49
Prešov Tunnel, Changes in Technical Solution During Construction	
Ing. Miloš Frankovský, Ing. Adriana Jakubíková, Ing. Roman Šály, Ing. Ján Zajac, DOPRAVOPROJEKT, a. s.	59
Picture Report from Celebratory Inauguration of Prešov West – Prešov East Motorway with Prešov Tunnel on 28th October 2021	68
The World of Underground Constructions	70
Current News from the Czech and Slovak Underground Constructions	71
From the History of Underground Constructions	79
Anniversaries	84
Bibliography	86

doc. Ing. Richard Šňupárek, CSc. – Ústav geoniky AV ČR, v.v.i.
Ing. Jiří Šach – Metrostav a.s.
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. Jozef Frankovský
Graphic designs: Ing. Jiří Šilar DTP, Na Záměšli 502/3, 150 00 Praha 5
Printed: SERIFA, s.r.o., Jionická 804/80, 158 00 Praha 5
Cover photo: View of the western portal of the Prešov tunnel before
the ceremonial opening of the motorway (photo archive
Doprastav, a.s.)

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. nový člen
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
Thákurova 7
166 29 Praha 6

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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.
V. P. Čkalova 22/784
160 00 Praha 6

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

ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR
Čerčanská 12
140 00 Praha 4

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 ÚLOŽIŠTÍ
RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ
Dlážďená 1004/6
110 00 Praha 1 – Nové Město

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

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

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

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

UNIVERZITA PARDUBICE
Dopravní fakulta Jana Pernera
Studentská 95
532 10 Pardubice

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

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

VIS, a.s.
K Hájům 946/10
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

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

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

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

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

Doprastav, a.s.
Drieňová 27
826 56 Bratislava

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

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

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

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

GEOSTATIK a.s.
Kragujevská 11
010 01 Žilina

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Reming Consult a.s.
Trnavská 27
831 04 Bratislava

Renesco a.s.
Panenská 13
811 03 Bratislava

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

Skanska SK a.s.
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.e., s.r.o.
Madáčova 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

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

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

Ústav geotechniky SAV
Watsonova 45
043 53 Košice

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

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

Železnice SR
Klemensova 8
813 61 Bratislava

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

Vážení přátelé,

vzhledem k tomu, že se vám do rukou dostává první letošní číslo našeho odborného periodika, úvodem mi dovolu, abych vám za celou redakci časopisu Tunel, přestože letošní rok si již odkrojil část ze svého vyměřeného času, popřál do jeho zbylé větší části hodně zdraví a životních úspěchů.

Jak již nastínil v editoriale minulého loňského čísla kolega Ing. Pavel Šourek, to letošní číslo časopisu Tunel bylo poprvé připravováno již pod taktovkou nového předsedy redakční rady Ing. Borise Šebesty, i když za plné podpory pana prof. Ing. Jiřího Bartáka, DrSc., nepochybně největší tunelářské kapacity v naší zemi.

Bývá zvykem, že v každém čísle se snažíme věnovat hlavní prostor některé z významných společností, zabývajících se mimo jiné podzemním stavitelstvím, a jak je již patrné z desek obálky, i v tomto čísle tomu nebude jinak. Tentokrát jsou to stavební společnost HOCHTIEF CZ a. s., člen nadnárodního holdingu s dlouholetou historií, a společnost Mott MacDonald CZ, spol. s r.o., která je rovněž součástí mezinárodní skupiny poskytující služby v oborech technického inženýrství a technicko-ekonomického poradenství.

V čísle 1/2022 můžete například pomyslně nahlédnout přímo pod pokličku zhotovitelům od prvně zmiňované stavební společnosti při realizaci stavební části inženýrskogeologického průzkumu trasy metra I.D v lokalitě VO-OL nebo při výstavbě bezbariérového zpřístupnění stanice metra Karlovo náměstí. V obou článcích se dozvíte o zajímavostech a problémech, se kterými se stavbaři při realizaci těchto projektů potýkali, nebo se můžete v dalším článku dozvědět zajímavé informace o výstavbě dalšího úseku metra v hlavním městě Dánska. Dále se v tomto čísle prostřednictvím článků přeneseme na budoucí stanici trasy metra I.D Nové Dvory, kde se od inženýrů ze společnosti Mott MacDonald CZ, spol. s r.o. dozvíte informace o složitosti navrženého technického řešení budoucí realizace stanice a o problematice statického návrhu primárního ostění částí stanice Nové Dvory za pomoci prostorového modelu. Z Prahy se pak s kolegy z Mott MacDonald CZ, spol. s r.o. ještě přesuneme železničním koridorem na jih do připravovaného Hosínského a Chotýčanského tunelu, kde se mimo jiné dozvíme i to, jaká jsou v tunelech navržena bezpečnostní řešení. Kdo se v dnešní prapodivné „covidové“ době, v čase často uzavřených hranic, nedostal do zahraničí, může se díky článku našich slovenských kolegů podívat do Prešova na nově otevřený dálniční tunel.

Z uvedeného rychlého přehledu připravených článků je patrné, že obsahově je značná část prostoru časopisu věnována metru I.D. Není tomu náhodou, protože jestli vše v pokračování legislativní přípravy dopadne tak, jak si možná bláhově přejeme, v příštím čísle se snad již dozvíte, že tak dlouho očekávaná stavba další trasy pražského metra již byla skutečně zahájena. Nepředbíhejme však, jako vždy, vše ukáže a skutečně potvrdí až čas.

Pěkné a poučné čtení vám přeje

Ing. MICHAL ŠERÁK
člen redakční rady

Dear friends,

with respect to the fact that the first this year's issue of our professional periodical is arriving in your hand, allow me to begin on behalf of all TUNEL journal editors by wishing you good health and lots of life achievements, even though this year has already cut some of its time.

As my colleague Ing. Pavel Šourek outlined in the editorial in a last year's journal issue, this year's issue of TUNEL journal was prepared for the first time under the leadership of the new chairman of the Editorial Board Ing. Boris Šebesta, although with the full support of Prof. Jiří Barták, DrSc., undoubtedly the largest tunnelling capacity in our country.

It is customary that in each issue we try to dedicate the main space to some of the major companies engaged, among other things, in underground construction, and as it can be seen from the cover, this issue will not be different. This time they are the construction company HOCHTIEF CZ a. s., a member of a multinational holding company with a long history, and Mott MacDonald CZ, spol. s r.o., which is also part of an international group providing services in the fields of technical engineering and technical and economic consulting.

In issue 1/2022, for example, you can get an imaginary look directly under the hood of contractors from the first above-mentioned construction company during the civil engineering part of the geological survey of the I.D metro line in the VO-OL location, or during the construction of barrier-free access to the Karlovo Náměstí metro station. In both papers, you will learn about the interesting facts and problems that the builders faced during the work on these projects, or you can learn interesting information about the construction of another section of the metro in the capital of Denmark. Furthermore, in this issue we will pass to the future Nové Dvory station of the I.D metro line, where you will learn from Mott MacDonald CZ, spol. s r.o. engineers about the complexity of the proposed technical solution to the future construction of the station and the static design of the primary lining of Nové Dvory station using a spatial model. From Prague, will move with our colleagues from Mott MacDonald CZ, spol. s r.o. south along the railway corridor to the planned Hosín and Chotýčany tunnels, where we will learn, among other things, which safety solutions are proposed for the tunnels. Whoever has not get abroad in today's strange „covid“ time, at a time of often closed borders, can, with the help of a paper by our Slovak colleagues, look at the newly opened motorway tunnel in Prešov.

From the above-mentioned quick overview of the prepared articles, it is clear that a significant part of the journal's space is devoted to the I.D metro line. It is no accident, because if everything goes on in the continuation of the legislative preparation, as we may wish foolishly, in the next issue you may find out that the long-awaited construction of another Prague metro line has actually started. However, let us not overtake, only time will show and really confirm things.

I wish you a nice and informative reading

Ing. MICHAL ŠERÁK
Member of Editorial Board



VÁŽENÉ DÁMY A PÁNOVÉ, VÁŽENÍ PROFESNÍ PŘÁTELE,

jsm poctěn nejen za společnost HOCHTIEF CZ, ale i za sebe, že mohu mít úvodní slovo k vydání časopisu Tunel, jehož část je věnována prezentaci činnosti naší stavební společnosti.

Společnost HOCHTIEF CZ patří mezi lídry na stavebním trhu, a to jak v segmentu pozemního, tak i dopravního stavitelství a s ním spjatou prací v podzemí, kterou považujeme za jednu z našich klíčových kompetencí. Toto odborné know-how rozvíjíme v naší divizi Dopravní stavby, která se za patnáct let své existence podílela na řadě významných tunelových projektů. Hned v počátcích se spolupodílela na realizaci silničního okruhu kolem Prahy, úseku 514 Lahovice – Slivenec. Na tomto projektu jsme byli ve sdružení odpovědní za realizaci Lochkovského tunelu a Lochkovského mostu. SOKP 514 se pro nás stal pilotním projektem, kde jsme potvrdili schopnost realizovat i takto náročnou stavbu. Dále jsme se podíleli na výstavbě tunelu Blanka v části Prašný most – Špejchar nebo jsme jako člen dodavatelského sdružení realizovali nové prodloužení trasy pražského metra V.A včetně stanic Bořislavka a nemocnice Motol. V intravilánu Prahy jsme ve sdružení zrealizovali i další tunelovou stavbu – konkrétně kolektor Hlávkův most. V oblasti železničních staveb se pak jednalo o dvoukolejné tunely Osek a Votický tunel. V současnosti realizujeme výstavbu tunelu Pohůrka na obchvatu Českých Budějovic a železničního tunelu Zvěrotice poblíž Soběslavi. Na konci loňského roku jsme dokončili práce na doplňkovém geologickém průzkumu pro trasu metra D. Zde jsme vyhloubili 36 m hlubokou přístupovou šachtu a vyrazili 322 m dlouhou průzkumnou štolu v profilech od 30 m² do 90 m². Jakožto člen vítězného sdružení se nyní intenzivně připravujeme na zahájení prací na první etapě nového metra D.

Naše obchodní kompetence pokrývají také slovenský trh a ve spolupráci s naší dceřinou společností HOCHTIEF SK máme za sebou náš zatím největší tunelářský projekt tunel Považský Chlmec na úseku dálnice D3, Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno). Ten v minulosti získal ocenění „Stavba roka“. Nabyté zkušenosti umožňují řadě našich zaměstnanců působit i na zahraničních tunelových stavbách naší mateřské společnosti prováděných jak konvenčními metodami, tak pomocí strojů TBM. Za všechny je možné uvést projekt Stuttgart 21 v Německu nebo projektovou přípravu trasy nového metra v Sydney linky City & South West.

Naše týmy tak mohou využívat odbornou podporu poskytovanou kompetenčními centry naší mateřské společnosti, jejíž stavitelské historii je téměř 150 let. Koncernové know-how získané na projektech, jako je Gotthardský bázový tunel nebo most přes Bosporský průliv v Turecku či na řadě dalších děl prováděných po celém světě našimi sesterskými společnostmi CIMIC, Flatiron nebo Thiess, jsme schopni představit a zúročít i u nás.

Závěrem bych rád České tunelářské asociaci poděkoval za její odbornou práci a popřál mnoho velmi kvalitních a podnětných setkání. Také věřím, že i toto aktuální vydání časopisu Tunel přinese všem jeho čtenářům řadu zajímavých informací.



DEAR LADIES AND GENTLEMEN, DEAR PROFESSIONAL FRIENDS,

I am honoured not only for the company HOCHTIEF CZ, but also for myself that I can have an introductory word in this issue of the Tunnel journal, part of which is dedicated to the presentation of activities of our construction company.

HOCHTIEF CZ is one of the leaders in the construction market, in the segment of both building and transportation construction and the associated work in the underground, which we consider to be one of our key competencies.

We are developing this professional know-how in our Transportation Construction division, which has participated in a number of important tunnel construction projects during the fifteen years of its existence. From the very beginning, it participated in the construction of the Prague City Ring Road (PCRR), section 514 Lahovice – Slivenec. As a member of the consortium for this project, we were responsible for the construction work on the Lochkov tunnel and the Lochkov bridge. PCRR 514 became a pilot project for us, where we confirmed our ability to carry out such a demanding construction. In addition, we participated in the construction of the Prašný most – Špejchar section of the Blanka complex of tunnels or, as a member of the consortium of contractors, we carried out the new extension of the Prague V.A metro line, including Bořislavka and Motol Hospital stations. In the urban area of Prague, we also carried out another tunnel construction as a member of the consortium – specifically the Hlávkův Bridge utility tunnel. In the field of railway construction projects, we constructed the Osek and Votice double-track tunnels. We are currently carrying out the construction of the Pohůrka tunnel on the České Budějovice road bypass and the Zvěrotice railway tunnel near Soběslav. At the end of last year, we completed the work on the supplementary geological survey for metro line D. Here we excavated a 36m deep access shaft and a 322m long exploration gallery with cross-sectional areas ranging from 30m² to 90m². As a member of the winning consortium, we are now intensely preparing for the commencement of the work on the first stage of the new Metro D line.

Our business competencies also cover the Slovak market and, in collaboration with our subsidiary HOCHTIEF SK, we have completed our to date largest tunnel construction project, the Považský Chlmec tunnel on the Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) section of the D3 motorway. This tunnel won the «Construction of the Year» award in the past. The gained experience allows many of our employees to work on foreign tunnel construction projects of our parent company carried out both using conventional methods as well as TBM machines. For all of them, it is possible to mention the Stuttgart 21 project in Germany or the preparation of the new City & South West Underground line in Sydney.

Our teams can thus use the professional support provided by the competence centres of our parent company having almost 150 years long construction history. We are able to present and benefit even in the Czech Republic from our group know-how acquired on projects such as the Gotthard Base Tunnel or the Bosphorus Bridge in Turkey or on a number of other projects carried out worldwide by our sister companies CIMIC, Flatiron or Thiess.

To conclude, I would like to thank the Czech Tunnelling Association for its professional work and wish it many high-quality and inspiring meetings. I also believe that this current issue of TUNEL journal will bring a lot of interesting information to all its readers.

ING. TOMÁŠ KORANDA

předseda představenstva společnosti HOCHTIEF CZ a. s.
Chairman of the Board of Directors HOCHTIEF CZ a. s.

VÁŽENÉ KOLEGYNĚ, KOLEGOVÉ A ČTENÁŘI ČASOPISU TUNEL,

po čase znovu dostávám možnost se na vás obrátit a podělit se s vámi o události, ke kterým došlo v naší firmě i na tunelářském trhu a zároveň se i rozloučit, protože z pozice generálního ředitele Mott MacDonald CZ se k vám obracím naposledy. O to více se těším, že se s vámi budu nadále setkávat u zajímavých projektů jako specialista na podzemní stavby.

Ve struktuře naší firmy v Čechách se příliš nezměnilo, jen jsme se o něco rozrostli. Je nás v Čechách přes 220. Nadále se specializujeme na dopravní stavby a nadále naši kapacitu dělíme zhruba 50/50 mezi naše vlastní zakázky a zakázky Mott MacDonald Group.

A teď již k tunelům. Jak všichni víme, na tunelářské frontě je v Čechách v posledních letech rušno. Alespoň co se projektování týče. Konečně k nám dorazily projekty a stavby tunelů realizované pomocí moderních TBM strojů a v České republice je tak dnes několik firem schopných tuto technologii projektovat. S hrdostí mohu prohlásit, že Mott MacDonald mezi ně patří. Po projektech metra v Baku, kde byly TBM tunely zcela v rukou našich inženýrů, jsme se v nedávné době podíleli na tunelech Broadway metra ve Vancouveru a železničním tunelu Toowoomba v Austrálii.

Novou oblastí v tunelech jsou v posledních letech v Čechách tunely na vysokorychlostních tratích, kde se do projektů implementují doporučení z francouzských standardů. Tady Mott MacDonald pracuje na hloubených tunelech Běchovice Sever, Běchovice Jih a Nová Dubeč na úseku RS1 VRT Praha-Běchovice – Poříčany a na tunelu Rajhrad na úseku RS2 VRT Modřice – Šakvice.

A v neposlední řadě se začínají objevovat úvahy o projektech Design and Build, ať je to na silnicích tunel Homole, či na železničních tunel Beroun. Zde bych se na chvíli zastavil. Technicky je tunel projektovaný jako Design and Build tunel jako kterýkoliv jiný. Z hlediska rizik pro projektanty a z hlediska profesních pojistek je to ovšem zcela jinak. Nikdy jsem nezapomněl na jednání s jedním z ředitelů francouzské firmy Bouygues o potenciální spolupráci na tunelu stanice metra, kdy jedna z úplně prvních otázek z jeho strany byl dotaz na výše našich pojistek, a to nejen za profesní odpovědnost a nejen za Mott MacDonald CZ.

Zde bych si dovilil všechny, co zkušenost se spoluprací se zahraniční nadnárodní firmou nemají, varovat. Tenhle zájem není vůbec teoretický. Dokonce některé firmy pojistku projektanta částečně zahrnují do svých kalkulací. A odpovědnost za přesnost výkazu výměr je past, do které zcela jistě nechcete spadnout.

Poslední poznámku bych si dovilil k dopadu Green Dealu a jeho taxonomie obecně na stavby v Čechách a tím i na tunely. Zatímco implementace do národních standardů již probíhá i v Anglii, po které to nikdo nevyžaduje, v Čechách se ještě nezačalo. A přitom soulad s touto taxonomií bude podmínkou pro financování nejen z EU fondů, ale i privátních bank.

Závěrem mi dovoluňte popřát všem mnoho osobních i obchodních úspěchů a těším se na budoucí spolupráci při přípravě a realizaci dalších projektů.



DEAR COLLEAGUES AND READERS OF TUNEL JOURNAL,

after some time I have the opportunity to address you again and share with you the events that took place in our company and in the tunnel construction market and, at the same time, say goodbye because I am turning to you from the position of CEO Mott MacDonald CZ for the last time. I am all the more looking forward that I will further meet you on interesting projects in the position of a specialist in underground construction.

Not too much has changed in the structure of our company in the Czech Republic, we have only grown up a little. Our number in the Czech Republic has grown to 220. Our specialisation in transportation construction continues, as well as the system of dividing our capacity approximately 50/50 between our own orders and the Mott MacDonald Group orders.

And now already to tunnels. As we all know, the Czech Republic has been busy on the tunnel construction market in recent years. At least as far as designing is concerned. Finally, designs and construction of tunnels using modern TBM machines have arrived to us, and there are now several companies capable of designing for this technique in the Czech Republic. I can proudly state that Mott MacDonald belongs among them. After designs for the Baku underground, where TBM tunnels were entirely in the hands of our engineers, we recently participated in designing for the Broadway subway tunnels in Vancouver and the Toowoomba rail tunnel in Australia.

A new field in tunnel construction in recent years in the Czech Republic is construction of tunnels on high-speed railway lines, where the recommendations gathered from French standards are implemented in designs. Here Mott MacDonald is working on the Běchovice North, Běchovice South and Nová Dubeč cut-and-cover tunnels in the Prague-Běchovice – Poříčany RS1 section of the high-speed rail line and on the Rajhrad tunnel located in the Modřice – Šakvice RS2 section of the high-speed rail line.

And last but not least, thoughts about Design and Build projects are beginning to emerge, whether it is the Homole tunnel on roads or the Beroun tunnel on rail tracks. I would stop here for a moment. Technically, the tunnel is being designed as a Design and Build project, like any other tunnel. However, it is completely different in terms of risks for designers and in terms of professional insurance. I have never forgotten the negotiation with one of the directors of the French company Bouygues about potential collaboration in designing for a metro station tunnel, where one of the very first questions on his part was asking about the value of our insurance policies, not only for professional liability and not only for Mott MacDonald CZ.

Here, I would dare warn everyone who does not have experience with collaboration with a foreign multinational company. This interest is not at all theoretical. Some companies even partially include designer's insurance in their calculations. And the responsibility for the accuracy of the bill of quantities is a trap that you certainly do not want to get into.

I would like to make the last remark about the impact of the Green Deal and its taxonomy in general on construction projects in the Czech Republic, thus also on tunnels. While implementation into national standards is already underway in England, from which no one requires it, it has not yet begun in the Czech Republic. At the same time, compliance with this taxonomy will be a condition for financing not only from EU funds, but also from private banks.

To conclude, let me wish you all a lot of personal and business success. I look forward to future cooperation in preparing and accomplishing future projects.

ING. RADKO BUCEK PH.D.

*Generální ředitel Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.
General Director of Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.*

DOPLŇKOVÝ GEOLOGICKÝ PRŮZKUM METRA D V PRAZE – ÚSEK VO-OL COMPLEMENTARY GEOLOGICAL SURVEY OF METRO IN PRAGUE – SECTION VO-OL

RADEK KOZUBÍK, ŠTĚPÁN OBRHEL, MARTIN ŠPETA

ABSTRAKT

Doplňkový geologický průzkum nové linky metra D v Praze byl situován do geologicky a geotechnicky nejrozmanitější, a především nejproblematičtější části trasy, která se nachází na Pankráci. Článek se zaměřuje na úsek VO-OL a navazuje na dříve publikované příspěvky v časopisu TUNEL č. 1/2019 a č. 4/2020. Toto průzkumné dílo je vedeno ve směru od těžní šachty nacházející se u ulice Na Strži do paty budoucí jednolodní stanice Pankrác D. Provádění činností hornickým způsobem v intravilánu města pod důležitými inženýrskými sítěmi včetně Želivského přivaděče, provozovanými traťovými tunely linky metra C na trase Pankrác – Budějovická a lokalitou průzkumných prací PAD4 klade velký důraz na vhodnou technologii prováděných prací a komplexní geotechnický monitoring. Realizace a vyhodnocení doplňkového inženýrskogeologického průzkumu v trase budoucího tunelu včetně průzkumných vrtů, geofyzikálního měření, polních a laboratorních zkoušek zastížených geologických vrstev povede k eliminaci rizik spojených s výstavbou budoucích traťových tunelů a jednolodní stanice metra Pankrác D.

ABSTRACT

The complementary geological survey of the new metro line D in Prague was located in the most geologically and geotechnically diverse and especially the most problematic part of the line route, in Pankrác neighbourhood. The paper focuses on the VO-OL section and is a follow-up to previously published papers in TUNEL journal issues No. 1/2019 and No. 4/2020. This survey project is led in the direction from the hoisting shaft located at Na Strži Street to the bottom of the future Pankrác D single-vault station. Activities carried out in a mining-like way in the developed area of the city, under important utility networks, including the Želivského water supply pipeline, operated running tunnels of the Pankrác – Budějovická section of the metro line C and the PAD4 survey locality, place great emphasis on appropriate technique of the work operations and the comprehensive geotechnical monitoring. The execution and assessment of the complementary engineering geological survey along the route of the future tunnel, including exploratory boreholes, geophysical measurements, field and laboratory tests of affected geological layers, will lead to elimination of risks associated with the construction of future running tunnels and the Pankrác D single-vault metro station.

1. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O PRŮZKUMNÉM DÍLE

Čtvrtou linkou na pražském metru situovanou ve směru sever – jih bude trasa D. Předpokládaná délka je cca 10,6 km s plánovanými 10 stanicemi. Nejsložitější etapou výstavby nové linky je úsek Pankrác – Olbrachtova, kde je situován doplňkový inženýrskogeologický průzkum, který pomůže řešit zásadní geologická a geotechnická rizika této významné stavby v intravilánu města pod provozovanou linkou metra C.

Zábor pro zařízení staveniště lokality VO-OL (větrací objekt – Olbrachtova) je navržen v prostoru stávajícího parku mezi ulicemi Na Strži a Jankovská, tedy v prostoru budoucího mezistaničního úseku stanic metra D Pankrác a Olbrachtova, a jeho funkce bude zachována i pro vlastní výstavbu trasy metra D, kde veškeré přípojky (kanalizační, vodovodní a elektrická) byly zrealizovány taktéž pro navazující etapu prací.

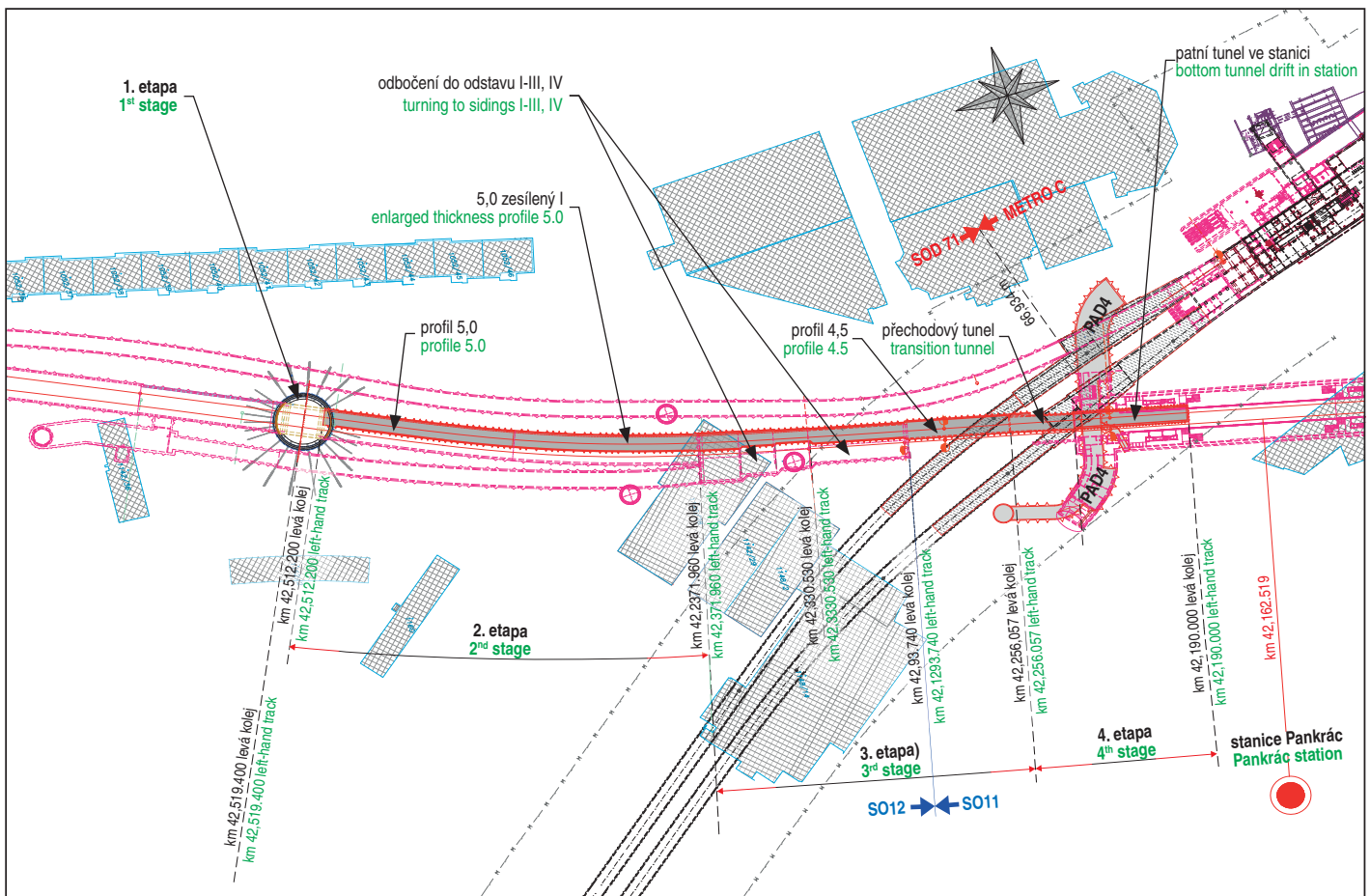
V průběhu průzkumu bylo ověřeno chování královských břidlic, jejich tektonické porušení a reakce na navržená sanační opatření pro budoucí ražbu rozpletu pod nadzemním stavebním objektem. Dále bylo nutné v části přechodového tunelu sestoupit na dno budoucí stanice Pankrác D v profilu patního tunelu vertikálně členěného výrubu jednolodní stanice, kde bylo ověřeno chování hornin kosovského souvrství, jejich vrstevnatost, výskyt poruch, zvodnění, geotechnické parametry a také určena poloha silurských diabasů a jejich zvodnění. Průzkumné dílo směrově, výškově i tvarově kopíruje v dílčím výrubu budoucí traťový tunel směrem ke stanici Pankrác D (obr. 1).

1. BASIC DATA ON THE SURVEY WORKS

Line D will be the fourth line of the Prague metro running in the north-south direction. The assumed length amounts approximately to 10.6km; 10 stations are planned on it. The Pankrác – Olbrachtova section is the most complicated stage in the construction of the new line, where the complementary engineering geological survey is located, which will help to address the major geological and geotechnical risks of this important construction in the developed area of the city, under the operated metro line C.

The land use for the construction site arrangement of the VO-OL locality (ventilation object – Olbrachtova) is designed to be in the area of the existing park between Na Strži and Jankovská streets, i.e. in the area of the future inter-station section between metro D line stations Pankrác and Olbrachtova, and its function will be maintained even for the construction of the metro D route. All connections (sewage, water and electricity) have been carried out here also for the subsequent stage of work.

During the survey, the behaviour of Králův Dvůr Formation shale, its tectonic faulting and the response to the proposed rehabilitation measures for the future excavation of a bifurcation chamber under an above-ground building were verified. Furthermore, in the part of the transition tunnel it was necessary to descend to the bottom of the future station Pankrác D in the profile of the bottom drift of the vertically divided excavation sequence of the one-vault station excavation, where the behaviour of the Kosov Formation rock, its stratification, occurrence of faults, water saturation and



Obr. 1 Celková situace průzkumného díla v lokalitě VO-OL (větrací objekt – Olbrachtova)
 Fig. 1 Overall layout of the survey works in VO-OL location Olbrachtova (ventilation object – Olbrachtova)

Zadavatelem průzkumného díla je Dopravní podnik hlavního města Prahy a.s., zhotovitelem průzkumných prací v této lokalitě je společnost HOCHTIEF CZ a. s., autorem projektové dokumentace METROPROJEKT Praha a. s., odpovědným řešitelem průzkumných prací společnost SG Geotechnika a.s. a obstaravatelem společnost Inženýring dopravních staveb a.s. Geotechnický monitoring zajišťuje sdružení „GTM trasy I.D metra“ zastoupené společnostmi INSET s.r.o a GeoTec-GS, a.s.

V rámci realizace průzkumných prací byla vyhloubena těžní šachta, která byla po obvodě zajištěna převrtávanými pilotami. Následně byly zahájeny ražby ve směru stanice Pankrác D, které končily po 322,85 m v profilu patního tunelu gotického tvaru. V průběhu těchto prací se provedl rozsáhlý inženýrskogeologický průzkum obsahující laboratorní a presiometrické zkoušky, geofyzikální měření, geologické sledování hloubení šachty a ražby průzkumného díla, hydrodynamické zkoušky v hydrologických vrtech a geologická dokumentace téměř kilometru provedených vertikálních hydrogeologických, extenzometrických a inklinometrických vrtů.

2. TĚŽNÍ ŠACHTA

Hloubená těžní šachta je první etapou v rámci prováděných prací na geologickém průzkumu v úseku VO-OL. Je umístěna v prostoru zařízení staveniště v těsné blízkosti ulice Na Strži.

Šachta průzkumného díla je kruhového průřezu o průměru 21,0 m (na osu pilot) a její hloubka je 36,613 m. Šachta je od úrovně terénu zajištěna pomocí 74 ks převrtávaných pilot (obr. 2). Z tohoto počtu je 37 ks primárních a 37 ks sekundárních pilot. Primární piloty zhotovené z prostého betonu mají délku až 24,5 m a jednotný průměr 1 200 mm. Sekundární vyztužené piloty mají

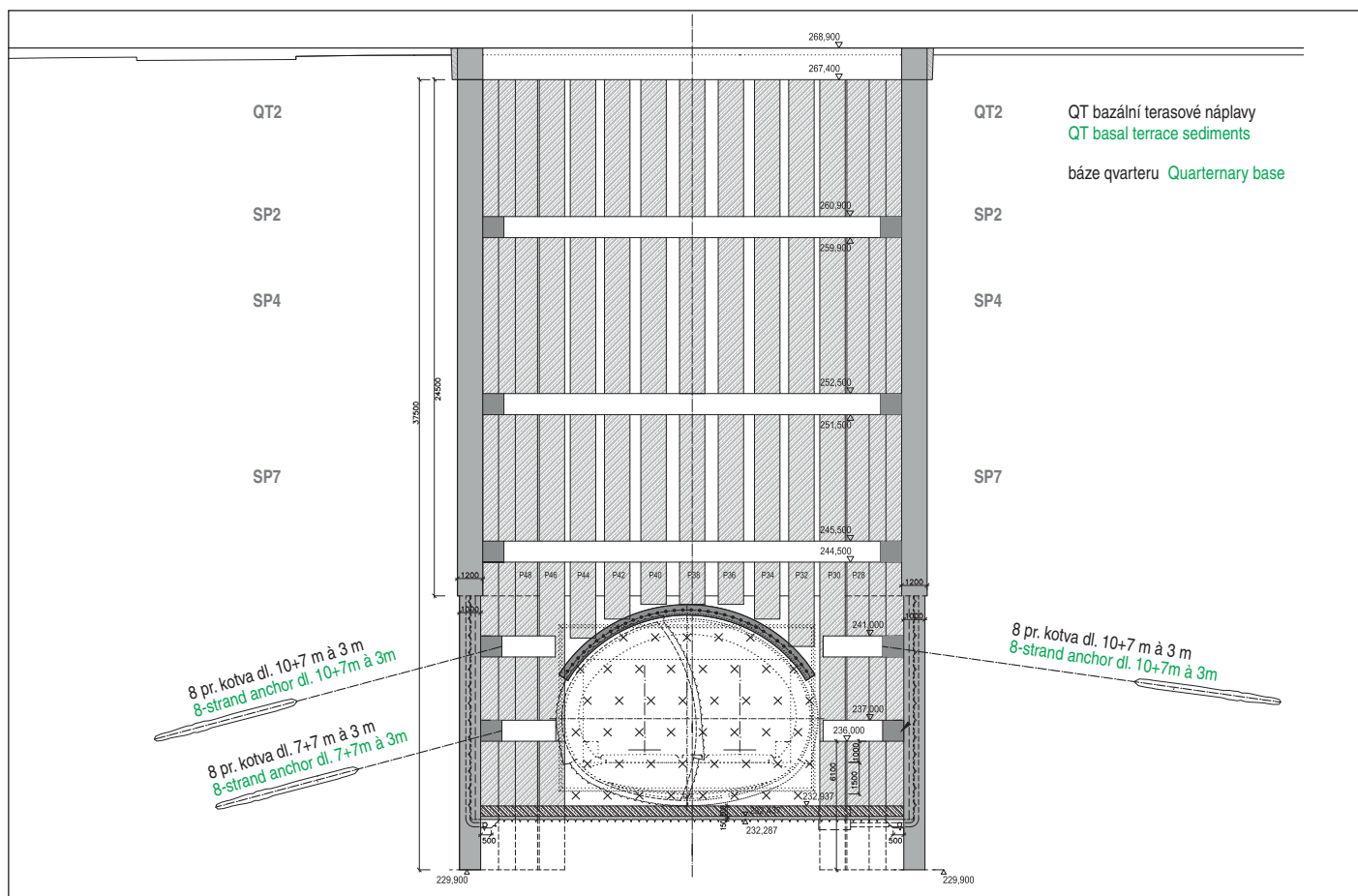
geotechnické parametry byly ověřeny a také byla stanovena poloha Silurského diabázu a jeho nasycení vodou byla určena. Průzkumy kopírují horizontální a vertikální zarovnání a tvar budoucího běžícího tunelu směrem ke stanici Pankrác D (viz obr. 1).

Prague Public Transit Company Inc. je smluvní orgán, HOCHTIEF CZ a. s. je subdodavatelem průzkumných prací v této lokalitě, METROPROJEKT Praha a. s. je autorem projektové dokumentace, SG Geotechnika a.s. je odpovědným řešitelem průzkumných prací a Inženýring dopravních staveb a.s. je zadavatelem. Geotechnický monitoring je zajišťován sdružením „GTM trasy I.D metra“ (Geotechnický monitoring metra I.D trasy) zastoupené společnostmi INSET s.r.o. a GeoTec-GS, a.s.

Šachta, která byla zabezpečena okrajem secantovými pilotami, byla vyhloubena v rámci průzkumných prací. Následně byla zahájena ražba směrem ke stanici Pankrác D a skončila po 322,85 m v profilu gotického tvaru patního tunelu. Během těchto prací byl proveden rozsáhlý inženýrskogeologický průzkum obsahující laboratorní a presiometrické zkoušky, geofyzikální měření, geologické sledování hloubení šachty a ražby průzkumného díla, hydrodynamické zkoušky v hydrologických vrtech a geologická dokumentace téměř kilometru provedených vertikálních hydrogeologických, extenzometrických a inklinometrických vrtů.

2. HOISTING SHAFT

Excavation of the hoisting shaft is the first stage within the framework of the work on the geological survey in the VO-OL



Obr. 2 Zajištění a hloubení šachty – svislý řez

Fig. 2 Stabilisation and excavation of the shaft – vertical section

délku až 37,5 m a průměr do hloubky 24,5 m rovněž 1 200 mm, zbývající metry jsou v průměru 1 000 mm. Sekundární piloty jsou vyztuženy armokoší spojenými z podélné výztuže, příčné výztuže a distančních vložek. Vzájemné spojení bylo prováděno přímo na stavbě pomocí prvků z válcované oceli. Ve spodní části šachty, kde dochází k průniku šachty s průzkumným tunelem, jsou piloty zkráceny tak, aby kopírovaly obrys profilu budoucího dvoukolejného tunelu směř Pankrác.

Před samotným zahájením vrtní pilot bylo nutné zhotovit vodící zídky. Vrty byly prováděny metodou rotačně náběrového vrtní s pažením. Pažení se provádělo ocelovými pažnicemi o \varnothing 1 180 mm. Mezní odchylka piloty od projektovaného sklonu byla stanovena na hodnotu 0,5 % z celkové délky vrtní, což je velmi přísná hodnota, nicméně se jí podařilo dodržet. Po provedení pilot byla vodící šablona pilot ubourána tak, aby nebránila vybudování ohlubňového ztužujícího věnce, zajišťujícího spojení hlav pilot a zároveň přenášejícího zatížení od mechanizace na povrch. Ztužující železobetonový věnec má rozměry 1 200 × 1 500 mm (š × v) a je navržen z betonu C25/30-XC2 a výztuže z oceli B500B. Zpevnění celé šachty dále zajišťují, kromě uvedeného, také železobetonové převázky P1–P5. Převázky P1–P3 jsou umístěny ve třech výškových úrovních po celém obvodu šachty (obr. 3). Jsou zhotoveny z betonu C25/30-XC2 a betonářské ohýbané výztuže B500B. Vzájemné spojení převázek s pilotovou stěnou je provedeno pomocí ocelových trnů, které jsou vždy kotveny do sekundární piloty. Převázky P4 a P5 jsou pouze čtvrtkruhové délky vzhledem k tomu, aby nebyly v kolizi s průzkumným tunelem směř Pankrác a s budoucím dvoukolejným tunelem směř Olbrachtova. Přes tyto převázky jsou z důvodu přenosu tahových sil provedeny osmipramencové kotvy délky 7 až 12 metrů směřem do ostění šachty.

section. It is located in the area of the construction site arrangement in close proximity to Na Strži Street.

The shaft for the exploratory works is circular in cross-section, with the diameter of 21.0m (measured to the axis of the piles) and the depth of 36.613m. The shaft excavation is supported from the terrain level with 74 secant bored piles (see Fig. 2). Of this number, 37 are primary piles and 37 are secondary. The plain concrete primary piles have a length of up to 24.5m and a uniform diameter of 1,200mm. The secondary reinforced concrete piles are up to 37.5m long. They are also 1,200mm in diameter and the depth of 24.5m, the remaining metres of the piles are 1,000mm in diameter. The secondary piles are reinforced with reinforcement cages consisting of longitudinal rebars, transverse rebars and spacers. The individual cages were connected with each other directly on site using rolled steel elements. In the lower part of the shaft, where the shaft intersects with the exploratory tunnel, the piles are shortened so that they copy the contour of the profile of the future double-track tunnel in the direction of Pankrác.

Before starting to drill for the piles, it was necessary to carry out guide-walls. The drilling was carried out using the method of rotary scooping with casing. The boreholes were cased with steel tubes \varnothing 1,180mm. The limiting deviation of the pile from the designed inclination was set at 0.5% of the total borehole length, which is a very strict limit. Nevertheless, it was successfully maintained. After the execution of the piles, the pile guide template was demolished so as not to prevent the construction of a reinforcing collar of the pit bank, ensuring the connection of the pile heads and at the same time transferring the load induced by mechanical equipment on the surface. The reinforcing collar dimensions are 1,200 × 1,500mm



Obr. 3 Realizace převázky P2 v šachtě

Fig. 3 Construction of waler P2 in the shaft

Vrtné práce na zajištění šachty převrtávanými pilotami prováděly současně dvě vrtné soupravy značky Bauer. Celkově bylo provedeno 2 115 m vrtů. Průměrný denní výkon se pohyboval v rozpětí 45 až 55 metrů. Při samotném hloubení šachty ve spodní části, pod již ukončeným souvislým ostěním z převrtávaných pilot (pod patami nearmovaných pilot), je zajištění šachty provedeno pomocí sekundárních armovaných pilot vrtaných z úrovně terénu až do hloubky 39 m a ze stříkaného betonu, prováděného mezi pilotami při hloubení jámy. Při hloubení se prostor výrubu mezi armovanými pilotami zajistil pomocí klenbiček ze stříkaného betonu C 25/30 v tloušťce 200 mm vyztužených dvěma ocelovými KARI sítěmi 6/100 × 6/100 mm. Postupovalo se po jednotlivých záběrech v délce 1,5 až 2,0 metru. Po vyhloubení šachty byla provedena železobetonová deska dna. Předtím se nejprve po obvodu šachty zřídila sběrná drenáž, která se zaústila do čerpací jímky. Poté se na urovnaný povrch dna šachty vybetonoval podkladní beton tloušťky 150 mm z betonu C16/20. Na tento podklad se provedla železobetonová deska tloušťky 500 až 850 mm z betonu C25/30 a betonářské výztuže. Takto zhotovená železobetonová deska zároveň plní rozpěrnou funkci. Celá šachta byla vyhloubena strojním způsobem bez použití trhacích prací. Při hloubení šachty byla současně nasazena dvě tunelová rypadla – CAT 325 o hmotnosti 30 tun a CAT 328 DLCR o hmotnosti 40 tun. Z důvodu bezpečného zahájení ražeb byl v předstihu ze šachty směrem do budoucího průzkumného tunelu proveden mikropilotový deštník. Ten je zhotoven z mikropilot průměru 114/6,3 mm a délky 1 200 mm v počtu 34 ks. Trubky ve vrtech byly následně tlakově zainjektovány.

3. RAŽENÁ ČÁST PRŮZKUMNÉHO DÍLA

Celková délka ražené části průzkumného tunelu je 322,85 m. Průzkumný tunel byl ražen ze dna hloubené těžní šachty na stavební VO-OL. V rámci průzkumných prací se jedná o první dílčí výrub vertikálního členění budoucích traťových tunelů (levý ve smyslu ražby od šachty ke stanici Pankrác). V celé délce raženého díla bylo zrealizováno 10 různých profilů ražeb o ploše výrubu od 30 do 64 m². Výrub prvního dílčího výrubu byl dále členěn horizontálně na dvě nebo tři výškové úrovně. Na dvoukolejný traťový tunel před stanicí Pankrác navazuje úsek přechodového tunelu, který umožní

(w × h) and C25/30-XC2 concrete and B500B steel reinforcement are designed for its structure. Reinforced concrete walers P1–P5 also provide stabilisation of the whole shaft excavation. The walers P1–P3 are located at three height levels around the entire circumference of the shaft (see Fig. 3). They are made using C25/30-XC2 concrete and bent B500B steel grade concrete reinforcement bars. The walers are connected with the pile wall by means of steel bars, which are always anchored into the secondary piles. Walers P4 and P5 are only around a quarter of the circle lengths so that they do not collide with the exploratory tunnel in the direction of Pankrác and with the future double-track tunnel in the direction of Olbrachtova. For the reason of transmitting tensile forces, eight-strand cable anchors 7 to 12

meters long are installed through these walers towards the shaft lining.

Drilling for the secant bored piles was carried out simultaneously by two Bauer drilling rigs. A total of 2,115m of boreholes were carried out. The average daily output ranged from 45 to 55 metres. During the excavation of the shaft in the lower part, under the already completed continuous lining formed by the bored piles (under the toes of the unreinforced piles), stabilisation of the shaft excavation is carried out by secondary reinforced concrete piles bored from ground level to a depth of 39m and shotcrete applied between the reinforced concrete piles during the shaft excavation. During excavation, the excavated space between the reinforced concrete piles was secured by means of small, 200mm thick, C 25/30 shotcrete vaults reinforced with two layers of KARI welded mesh 6/100 × 6/100mm. The excavation proceeded in 1.5 to 2.0m deep rounds. After completion of the shaft excavation, a reinforced concrete bottom slab was carried out. Before that, collecting drainage leading to a pumping sump was first established around



Obr. 4 Strojní rozpojování v patním tunelu

Fig. 4 Mechanical rock breaking in the bottom drift

přístup z úrovně kolejí v traťovém tunelu na úroveň spodní klenby budoucí stanice. Posledních 44,65 m je situováno v patě budoucí jednolodní stanice Pankrác D (obr. 4).

Průzkumné tunely byly raženy Novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM) s velkým důrazem na kotvení čelby a s poměrně tuhým ostěním pro minimalizaci deformací horninového prostředí. Důvodem je snaha o minimalizaci poklesů povrchové zástavby, inženýrských sítí a provozovaných tunelů trasy metra C v komplikovaných hydrogeologických podmínkách. Rozpojování hornin probíhalo vzhledem k zastíženým inženýrskogeologickým poměrům s využitím pásového rypadla Liebherr R924. Rubanina byla nakládána do těžní nádoby o objemu 10 m³, která byla šachtou pomocí věžového jeřábu Liebherr 500 HC40 vytažena na meziděponii na povrchu a následně byla naložena na nákladní automobily a odvezena na skládku. Vyztužení tunelu je tvořeno primárním ostěním o tloušťce od 250 do 450 mm ze střikaného betonu o pevnosti C 25/30 s pomocnými příhradovými oblouky, výztužnými ocelovými nebo sklolaminátovými sítěmi, radiálními svorníky a jehlováním z IBO kotev ze sklolaminátu nebo oceli, vyplněných cementovou nebo chemickou injektáží. Takto zhotovené primární ostění mělo příznivý dopad do deformací, které po celou dobu výstavby nepřesáhly 1. varovný stav. Čelba byla zajištěna ocelovými svorníky R 32/15 délky 16,0 m se vzájemným přesahem 8,0 m, doplněna sítěmi a střikaným betonem tloušťky 250 mm. Část čelbových svorníků byla aktivována vysokotlakou injektáží na bázi organicko-minerální hmoty.

V podélném směru byla vzdálenost jednotlivých čeleb závislá na zastížených geologických a geotechnických podmínkách a byla určena technologickou třídou výrubu. Při realizaci byly zastoupeny tyto technologické třídy: TT4, TT5a, TT5b a TT5b.2. Technologická třída TT5b.2 je modifikovaná technologická třída TT5b doplněná o vysokotlakou injektáž horninového prostředí na bázi dvousložkových organicko-minerálních hmot (obr. 5). Tunel byl ražen úpadně a veškerá tunelová voda byla přes kaskádu čerpána na zařízení staveniště a po vyčištění odvedena do kanalizace.

Po dokončení těchto průzkumných prací následovaly dokončovací práce na průzkumném díle spočívající v odtěžení dočasné pojízdné počvy, položení a obsypu podélné drenáže DN 250 SN8 tříděným recyklátem a betonáží pochozí stezky. Stezka je vyztužena dvojicí svařovaných sítí 150x150/8x8 mm při obou površích betonové desky o tloušťce 200 až 300 mm z betonu C20/25. Na boku tunelu jsou vedeny rozvody médií (voda, elektro, větrání, odpadní potrubí) nezbytné pro údržbu dokončeného průzkumného díla (obr. 6).



Obr. 5 Diskontinuity vyplnění injektážní směsí v kosovském souvrství
Fig. 5 Filling of discontinuities in the Kosov Formation with grouting mixture

the shaft perimeter. Then, C16/20 blinding concrete layer 150mm thick was cast on the levelled surface of the shaft bottom. A C25/30 reinforced concrete slab 500 to 850mm thick, reinforced with steel rebars, was carried out on this base. The reinforced concrete slab made in this way also fulfils the bracing function. The entire shaft was excavated mechanically without the use of blasting. During the excavation of the shaft, two tunnel excavators, CAT 325 weighing 30 tonnes and CAT 328 DLCR weighing 40 tonnes, were used simultaneously. In order to start the excavations safely, a canopy tube pre-support was installed in advance from the shaft towards the future exploratory tunnel. The canopy is formed by 34 pieces of steel tubes with a diameter of 114/6.3mm and a length of 1,200mm. The tubes were subsequently pressure grouted in the boreholes.

3. MINED PART OF THE EXPLORATORY WORKS

The total length of the mined part of the exploratory tunnel amounts to 322.85m. The exploratory tunnel was excavated from the bottom of the hoisting shaft on the VO-OL construction site. Within the framework of the survey operations, this is the first partial excavation of the vertical sequence (sidewall drifts and central pillar) of future running tunnels (left-hand tunnel in the sense of excavation from the shaft towards the Pankrác station). Ten different excavation profiles with an excavation face area ranging from 30 to 64m² were carried out within the entire length of the excavation works. The excavation of the first partial profile was further divided horizontally into two or three height levels. The transition tunnel section connects to the double-track running tunnel before the Pankrác station. It will allow access from the level of the tracks in the running tunnel to the level of the invert of the future station. The last 44.65m long section is at the foot of the future single-vault Pankrác D station (see Fig. 4).

The exploratory tunnels were excavated using the New Austrian Tunnelling Method (NATM) with great emphasis on anchoring of the excavation face and with a relatively rigid lining designed to minimise deformations of the rock environment. The reason is the effort to minimise subsidence of surface buildings, utility networks and operated tunnels of the metro line C in complicated hydrogeological conditions. With respect to the encountered engineering geological conditions, the rock was being broken using a Liebherr R924 crawler excavator. Muck was loaded into a 10m³ mining skip, which was lifted to the intermediate stockpile by a Liebherr 500 HC40 tower crane and then loaded onto lorries and taken to the final stockpile. The tunnel excavation support consists of a 250 to 450mm thick primary lining made of C 25/30 strength shotcrete with auxiliary lattice girders, reinforcing steel or glassfibre mesh, radial rock bolts and needles – IBO steel or fibreglass anchors, filled with cementious or chemical grout. The primary lining made in this way had a positive impact on deformations, which did not exceed the 1st warning state during the entire construction period. The excavation face was stabilised with 16.0m long steel rock bolts R 32/15 with a mutual overlap of 8.0m, supplemented with welded mesh and a 250mm thick layer of shotcrete. Part of the rock bolts in the excavation face was activated by high-pressure grouting based on an organic-mineral matter.

In the longitudinal direction, the distance between individual headings was dependent on the encountered geological and geotechnical conditions and was determined by the excavation support class. The following excavation support classes were represented during the excavation: TT4, TT5a, TT5b and TT5b.2. Excavation support class TT5b.2 is a modified support class TT5b

3.1 Rozšíření průzkumného díla v portálové části

Při realizaci průzkumného díla byla v prvních desítkách metrů zastižena střípkovitě rozpadavá břidlice, velmi drobně slídnatá, černošedé barvy. Byly zastiženy silně tektonicky podrcené bohdalecké břidlice. Na základě těchto skutečností bylo dosaženo 3. varovného stavu na konvergenčních profilech v úvodní části tunelu. Z těchto důvodů bylo rozhodnuto o rozšíření ražby na plný profil budoucího dvoukolejného tratového tunelu o ploše 89 m² v prvních 41,7 m směrem k jednolodní stanici Pankrác a doplněno kotvení čelby při ražbě (obr. 7). Uzavřený profil celého dvojkolejného tunelu nejlépe staticky odolává tlakům horniny. Zrealizované řešení přineslo upřesnění deformační odezvy horninového masivu v místech tektonické poruchy, upřesnění vstupů pro statické výpočty, ověření statických modelů zejména s přihlédnutím k bezpečnému podcházení provozované trasy C metra a upřesnění prognózy vlivu ražby dvojkolejného tunelu na povrchové objekty.

Druhý dílčí výrub byl horizontálně členěn na dvě výškové úrovně. Ostění tunelu je tvořeno primárním ostěním o tloušťce od 250 do 300 mm ze stříkaného betonu o pevnosti C 25/30 s pomocnými příhradovými oblouky, ocelovými výztužnými sítěmi se dvěma polohami sítí 150x150/8x8 mm, radiálním kotvením a jehlováním IBO kotvami z oceli vyplněnými cementovou injektáží. Čelba byla zajištěna ocelovými tyčemi se vzájemným překotvením a stříkaným betonem tl. 100 mm. Čelbové kotvy byly také vyplněny cementovou injektáží. Následné odstřížení a vybourání dočasné střední opěry bylo možné po dosažení pětidenní pevnosti stříka-



Obr. 6 Pohled na přechodovou část mezi profily o osové vzdálenosti 4,5, přechodovým a patním tunelem
Fig. 6 A view of the transition part between profiles with track centre distance of 4.5m, the transition tunnel and bottom drift

supplemented by high-pressure grouting into the rock environment, based on two-component organic-mineral materials (see Fig. 5). The tunnel was driven down the hill and all tunnel water was pumped along a cascade to the construction site arrangement and, after cleaning, was led to a sewer.

After the completion of the exploration operations, the finishing of the exploratory works consisting in the removal of the vehicular traffic taking temporary bottom, laying and backfilling of the longitudinal drainage DN 250 SN8 with screened recycled material and concreting of the emergency walkway. The walkway concrete is reinforced with a pair of layers of welded mesh 150x150/8x8mm on both surfaces of the 200 to 300mm thick slab made of C20/25 concrete. On the tunnel side, there are media distribution lines (water, electricity, ventilation, sewage) necessary for the maintenance of the completed survey works (see Fig. 6).

3.1 Expansion of the survey works in the portal part

During the survey, shardy, very finely micaceous, black-gray colour shale was encountered in the first tens of meters. Heavily tectonically crushed Bohdalec Formation shale was found. Based on these facts, the 3rd warning state was reached on the convergence profiles in the initial part of the tunnel. For these reasons, it was decided to expand the excavation to the full profile of the future double-track running tunnel with a cross-sectional area of 89m² in the first 41.7m long section towards the Pankrác single-vault station and supplement anchoring of the excavation face during excavation



Obr. 7 Pohled na rozšíření díla v portálové části
Fig. 7 A view of the expanded tunnel in the portal part

ného betonu. Vzdálenost čela kaloty od uzavřeného dna se podle jednotlivých technologických tříd pohybovala mezi 10 až 20 m.

3.2 Geologická situace v zájmovém území

Ražba průzkumného tunelu prochází třemi souvrstvími. Jedná se o bohdalecké, královské a kosovské souvrství.

3.2.1 Bohdalecké souvrství

Bohdalecké souvrství je obvykle tvořeno velmi jemnými jílovitými břidlicemi, velmi drobně slídnatými, černošedé barvy, místy tektonicky porušenými, drobně úlomkovitého až střípkovitého rozpadu, s ohlazovými plochami. Jílovité, slabě diageneticky zpevněné břidlice souvrství bohdaleckého poměrně snadno podléhají tektonickému porušení, a je proto nutné počítat s porušením různého rozsahu v celé mocnosti těchto hornin.

3.2.2 Královské souvrství

Královské břidlice jsou velmi jemné, jílovité, velmi jemně slídnaté (mikroskopicky), makroskopicky až bezslídné, tenké vrstevnaté až lupenité, na vrstevních plochách vlhké a na dotek hebké až mastné. Jejich barva je šedá až zelenošedá, v dosahu zvětrávacích procesů se mění až na olivově zelenou. Břidlice jsou měkké a slabě diageneticky zpevněné. Podléhají intenzivnímu a hlubokému zvětrání a rozpadají se na zelenohnědou jílovitou hlínu s drobnými šupinkovitými střípky navětralých břidlic. Jak břidlice bohdalecké, tak královské obsahují vysoké procento pyritu, který se při procesu kyzového zvětrání rozkládá v krystaly sádrovce a v povlaky síranů. Celková mocnost královských břidlic je cca 60 až 80 m. V případě výskytu sádrovce je aktuální bobtnání se svými destruktivními projevy, kdy ale při samotné realizaci k jeho výskytu nedošlo.

3.2.3 Kosovské souvrství

Kosovské souvrství je nejmladším ordovickým souvrstvím. Jedná se o flyšové souvrství, kde dochází k rychlému střídání černošedých jílovitých, prachovitých a písčitých tenké vrstevnatých břidlic a destičkovitě až lavicovitě odlučných křemenných pískovců, křemenců a drob. Ve svrchní části souvrství převládají hrubozrnné lavicovité pískovce, břidličné vločky zde chybí. Celková mocnost souvrství se pohybuje kolem cca 80 až 120 m. Jako celek je kosovské souvrství odolnější proti zvětrávání a v reliéfu území se projevuje jako hřbety vyvýšenin. Horniny jsou však zde také značně tektonicky porušené, silně rozpukané a na odlučných plochách silně limonitizované. Vlivem flyšového charakteru jsou také náchylné k sesouvání.

Pro ověření mechanických vlastností horninového prostředí bohdaleckého, královského a kosovského souvrství (ordovik) včetně polohy silurských vulkanitů (diabasů) byly v průzkumné štole realizovány presiometrické či dilatometrické zkoušky, situované v radiálně orientovaných vrtech v rovině kolmé na osu štoly. Jednalo se o vrty PP01–PP05, PVJ1–PVJ3. Zkouškami zjištěné přetvárné a pevnostní charakteristiky horninového masivu v nadloží, bocích i podloží průzkumného tunelu umožní objektivní stanovení vstupních parametrů do statických výpočtů.

Dalším vrtem, kterým byly ověřeny vlastnosti hornin v prostoru budoucí stanice Pankrác, byl 90metrový vrt, který byl proveden z konce průzkumného díla subhorizontálně. Smyslem těchto průzkumných prací bylo zjištění přesnějších informací o geologických, hydrogeologických a geomechanických vlastnostech kosovských a liteňských souvrství, diabasů a také kopaninského souvrství, které se na konci budoucí stanice nachází.

4. ZKUŠEBNÍ INJEKTÁŽNÍ POLE

Kromě samotného geologického průzkumu je také velmi významným úkolem ověření účinnosti horninových injektáží v bohdaleckém a královském souvrství. Součástí realizovaného

(see Fig. 7). The closed profile of the entire double-track tunnel is best statically resistant to ground pressures. The applied solution brought the specification of the deformational response of the rock mass in places of the tectonic fault, specification of inputs for structural analyses, verification of static models especially taking into account the safe passage under the operated metro line C and refining of the prognosis of the impact of the double-track tunnel excavation on surface buildings.

The second partial excavation was horizontally divided into two height levels. The tunnel lining consists of a 250 to 300mm thick primary lining made of C 25/30 shotcrete, auxiliary lattice girders, two layers of welded mesh 150x150/8x8mm, radial anchoring and forepoling with IBO steel anchors filled with cement grouting. The excavation face was supported with steel bars with mutual re-anchoring and a 100mm thick shotcrete layer. Subsequent cutting out and breaking out the temporary central abutment was possible after achieving the five-day strength of the shotcrete. The distance of the top heading excavation face from the closed bottom ranged from 10 to 20m, depending on individual excavation support classes.

3.2 Geological situation in the area of interest

The excavation of the exploratory tunnel runs through three formations, the Bohdalec, Králův Dvůr and Kosov Formations.

3.2.1 Bohdalec Formation

The Bohdalec Formation is usually formed by very fine clayey shale, very finely micaceous, black-gray, locally tectonically faulted, slightly clastic to shaly, with slickensided surfaces. The clayey, weakly diagenetically solidified shale of the Bohdalec Formation is relatively easily subjected to tectonic faulting, and it is therefore necessary to take into account faulting of various extent throughout the thickness of this rock.

3.2.2 Králův Dvůr Formation

The Králův Dvůr shale types are very fine, clayey, very finely micaceous (microscopically), macroscopically up to non-micaceous, slaced to lamellae, moist on the bedding planes and velvety to greasy to the touch. Their colour is gray to green-gray, changing within the range of weathering processes to olive green. The shale is weak and slightly diagonally solidified. It is subject to intense and deep weathering and disintegrate into green-brown clayey loam with tiny scales of weathered shale. Both Bohdalec and Králův Dvůr shale contains a high percentage of pyrite, which disintegrates into gypsum crystals and sulphate coatings during the pyritic weathering process. The total thickness of Králův Dvůr shale layers ranges from 60 to 80m. In the case of the occurrence of gypsum, the swelling with its destructive manifestations is current, however, it did not occur during the construction.

3.2.3 Kosov Formation

The Kosov Formation is the youngest Ordovician Formation. It is a flysch sequence formation, with black-gray clayey, silty and sandy, thinly layered shale and tabularly jointed quartzose sandstone, quartzite and greywacke alternating. Coarse-grained tabular sandstone predominates in the upper part of the formation; shale interbeds are missing here. The total thickness of the layers ranges from 80 to 120m. As a whole, the Kosov Formation is more resistant to weathering and manifests itself in the relief of the area as ridges of elevations. However, the rock is also considerably tectonically faulted, heavily fractured and heavily limonitised on joint planes. Due to its flysch sequence character, it is also prone to landsliding.

průzkumného díla tedy bylo i ověření vlastností injektážních hmot na bázi mikrocementu (JetBlend), dvousložkových organicko-minerálních pryskyřic (Carbothix) a dvousložkové polyuretanové směsi (Carbopur WX). Pro ověření účinnosti těchto sanačních injektáží byly v rámci injektážního pokusu zvoleny dvě lokality.

První lokalita byla umístěna v bohdaleckém souvrství na 34. raženém metru, kde byly zrealizovány dva vějíře v počtu osmi vrtů v každém vějíři. Vrty měly \varnothing 76 mm a délku od 4 do 9,3 metru. Celková délka vrtů v první lokalitě byla 108 metrů. Injektážní tlaky se pohybovaly v rozmezí 45 až 80 barů. V této lokalitě byla vyzkoušena dvousložková organicko-minerální pryskyřice (Carbothix).

Druhá lokalita je umístěna ve vzdálenosti 120 až 130 m od těžní šachty v královodorském souvrství. Obsahuje devět vějířů. V každém vějíři je devět vrtů. Vrty byly taktéž o průměru 76 mm a délky 4 metru. Celková délka vrtů byla 324 m. Na druhém vrtném profilu byly vyzkoušeny injektážní materiály na bázi mikrocementu (JetBlend) a dvousložkové polyuretanové směsi (Carbopur WX). Injektážní tlaky se pohybovaly v rozmezí 45 až 80 barů. K injektáži na obou lokalitách bylo použito dvoučinné pístové pneumaticky poháněné čerpadlo, určené k injektáži jedno- nebo dvousložkových polyuretanových a organicko-minerálních pryskyřic.

Ve všech těchto vrtech byla provedena presiometrická/dilatometrická měření, inženýrskogeologický popis, odběr a laboratorní zkoušky pevnosti hornin a následně soubor geofyzikálních měření.

Po vyhodnocení vlivu vlastností jednotlivých injektážních materiálů bylo zjištěno, že nedošlo k zásadnímu zlepšení parametrů horninového prostředí poloh břidlic bohdaleckého a královodorského souvrství. U jílovitých částí břidlic docházelo k degradaci vlivem vodního výplachu. Odebraný jádrový výnos netvořil kompaktní celek vhodný pro stanovení pevnostních parametrů hornin. Injektážní materiál však vyplnil veškeré diskontinuity, čímž se výrazně zlepšila dočasná stabilita výrubu a zároveň se zamezilo průniku podzemní vody do díla. Průniky podzemní vody do těchto poloh břidlic velmi negativně ovlivňovaly kvalitu počvy a výrubu, což mělo negativní vliv i na deformace.

5. ROZŠÍŘENÍ PRŮZKUMNÝCH PRACÍ POD TUNELEM METRA C

Při realizaci průzkumných prací se potvrdila vysoká propustnost poloh pískovců a kosovského souvrství. Důsledkem odkrytí těchto poloh v raženém podzemním díle je rychlé a hluboké poklesnutí hladiny podzemní vody v oblastech, kde je předkvartérní podloží tvořené těmito horninami. Výsledkem je vytváření výrazně deformovaného depresivního kužele a místy nerovnoměrné sedání objektů v nadloží.

Zastižené polohy kosovského souvrství byly v rámci průzkumných prací lokality VO-OL zajištěny v technologické třídě TT5b.2. Veškeré diskontinuity a migrační zóny tečí byly vyplněny materiálem na bázi organicko-minerálních pryskyřic tak, aby nedošlo k poklesu stávající úrovně hladiny podzemní vody. Hydrogeologické vlastnosti kosovských vrstev by zásadním způsobem mohly ovlivnit predikované deformace na provozovaných jednokolejných tunelech linky metra C na trase Pankrác – Budějovická.

Na základě závazného příkazu vydaného Obvodním báňským úřadem pro území hlavního města Prahy a kraje Středočeského bylo vypracováno a provedeno opatření k zajištění bezpečnosti vyraženého díla pod provozovanou linkou metra C, tj. ve staničení km 42,293.740–42,248.300 (obr. 8).

Opatření spočívala v provedení druhého dílčího výrubu umožňujícího rozšíření na plný profil budoucího dvoukolejného tunelu a dále v realizaci zpevňující injektáže pod levým traťovým tunelem provozované trasy metra C.

To verify the mechanical properties of the rock environment of the Bohdalec, Králův Dvůr and Kosov Formations (Ordovician), including a layer of Silurian volcanites (diabase), pressuremeter or dilatometer tests, situated in radially oriented boreholes in a plane perpendicular to the gallery axis, were conducted in the exploratory gallery. These were the boreholes PP01–PP05 and PVJ1–PVJ3. The deformation and strength characteristics of the rock mass determined by tests in the overburden, sides and subgrade of the exploratory tunnel will make objective determination of input parameters for structural analyses possible.

The 90-metre borehole which was bored sub-horizontally from the end of the exploration works was another borehole used for verifying the properties of rock types in the area of the future Pankrác station. The purpose of the exploration was to gather more accurate information about the geological, hydrogeological and geomechanical properties of the Kosov and Liteň Formations, diabase and also the Kopanina Formation, which is located at the end of the future station.

4. GROUTING TEST FIELD

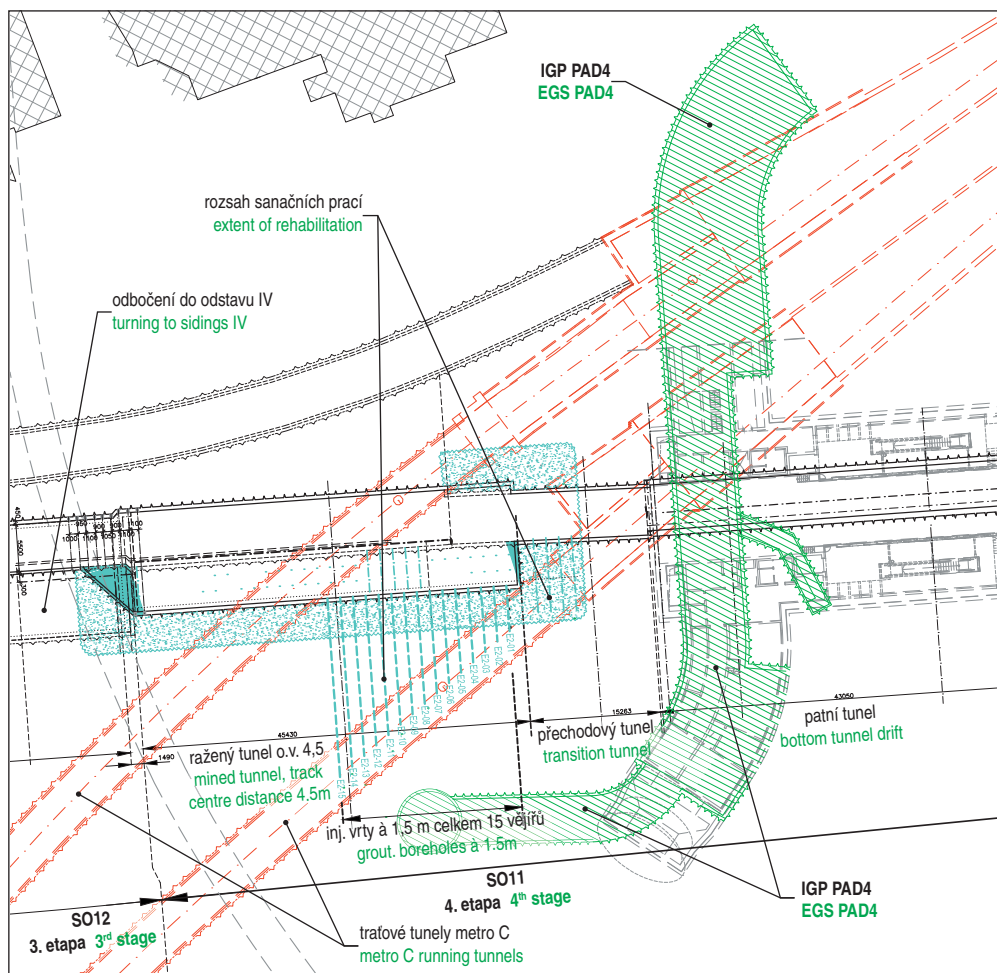
In addition to the geological survey itself, it is also a very important task to verify the effectiveness of rock grouting in the Bohdalec and Králův Dvůr Formations. Therefore, the verification of the properties of grouting materials based on microfine cement (JetBlend), two-component organic-mineral resins (Carbothix) and two-component polyurethane mixture (Carbopur WX) was part of the survey. To verify the effectiveness of the rehabilitation grouting, two locations were selected within the framework of the grouting experiment.

The first location was in the Bohdalec Formation in the 34th mined metre, where two fans with eight boreholes in each of them were carried out. The boreholes were 76mm in diameter and 4 to 9.3m long. The total length of the boreholes in the first location amounted to 108 metres. The injection pressures ranged from 45 to 80bar. A two-component organic-mineral resin (Carbothix) was tested in this location.

The second location is at a distance of 120 to 130m from the hoisting shaft in the Králův Dvůr Formation. It contains nine fans. Nine fans are in each boreholes. The boreholes were also 76mm in diameter and 4m long. The total length of the boreholes amounted to 324m. Microfine cement-based grouting materials (JetBlend) and two-component polyurethane mixtures (Carbopur WX) were tested in the second drilling profile. Injection pressures ranged from 45 to 80bar. A double-acting pneumatically driven piston pump, designed for injecting one- or two-component polyurethane and organic-mineral resins, was used for grouting at both locations.

Pressuremeter/dilatometer measurements, engineering geological description, sampling and laboratory tests of rock strength were conducted in all above-mentioned boreholes, and a set of geophysical measurements was carried out subsequently.

After assessing the influence of the properties of individual grouting materials, it was found out that there was no significant improvement in the parameters of the rock environment of the Bohdalec and Králův Dvůr shale layers. The clayey parts of the shale were degraded by water flushing. The collected core yield did not form a compact unit suitable for determining the strength parameters of the rock. However, the grouting material filled all discontinuities, which significantly improved the temporary stability of the excavation and, at the same time, prevented the penetration of groundwater into the excavation. Groundwater penetration into these shale layers had a very negative effect on



Obr. 8 Půdorys s vyznačením rozsahu sanačních prací
Fig. 8 Plan view with the extent of rehabilitation operations marked in it

Před zahájením prací na rozšíření průzkumných ražeb se z prvního dílčího výrubu provedla I. etapa horninové vysokotlaké injektáže pomocí organicko-minerálních pryskyřic do prostoru budoucího druhého výrubu (obr. 9). Vějíře radiálních tlakových injektáží začínaly ve staničení km 42,299.000 a končily ve staničení km 42,257.000. Jednotlivé vějíře jsou od sebe vzdáleny 1,5 m. Injektáže se prováděly prostřednictvím ocelových samozávrtných injekčních tyčí $\varnothing 32/15$ mm. Návrtné body v líci ostění jsou od sebe vzdáleny cca 750 mm. Těsnící a zpevňující vysokotlaká injektáž byla provedena hmotami na organicko-minerální bázi, které se dobře osvědčily již při ražbě prvního výrubu, s maximálním tlakem do 80 barů.

Následně byla zahájena ražba s využitím strojního rozpojování pomocí pásového rypadla Liebherr R924 při osové vzdálenosti traťových kolejí 4,5 m do staničení km 42,293.740. Ražba druhého dílčího výrubu se prováděla postupným přibíráním pravé strany prvního dílčího výrubu po jednotlivých záběrech. Přechodový úsek v délce cca 9,2 m se prováděl s horizontálním členěním na kalotu a opěří se zpětným dobírání dna v celém úseku. Po dokončení této části následovala ražba druhého dílčího výrubu s horizontálním členěním na dvě výškové úrovně pracovišť s maximálním odstupem čelby kaloty od uzavřeného dna 8,0 m. Tento úsek ražby končil ve staničení km 42,256.057. Část přechodového tunelu, který zůstal v původním profilu, byl rozepřen dřevěnou výdřevou (obr. 10).

Následně se provedlo předstihové kotvení čelby pomocí samozávrtných svorníků délky 16,0 m injektovaných vysokotlakou injektáží (80 bar). Po proinjektování předpolí se vyrazil levý dílčí výrub s přestrojováním dříve vyraženého oválného přechodového tunelu mezi

the quality of the bottom and the excavated space, which also had a negative effect on the deformations.

5. EXTENSION OF SURVEY OPERATIONS UNDER METRO C LINE TUNNELS

During the survey operations, the high permeability of Kosovo Formation sandstone and greywacke was confirmed. The rapid and deep subsidence of the groundwater table in areas where the pre-Quaternary subgrade is formed by this rock is the consequence of exposing the layers in the mined underground works. The result is the creation of a significantly deformed depression cone and local differential settlement of objects in the overburden.

The encountered Kosovo Formation layers were stabilised in excavation support class TT5b.2 within the survey operations on the VO-OL location. All discontinuities and migration zones of the flows were filled with a material based on organic-mineral resins so that the current water table does not subside. The hydrogeological properties of the Kosov Formation strata could significantly affect the predicted deformations in the operated single-track tunnels of the metro line C on

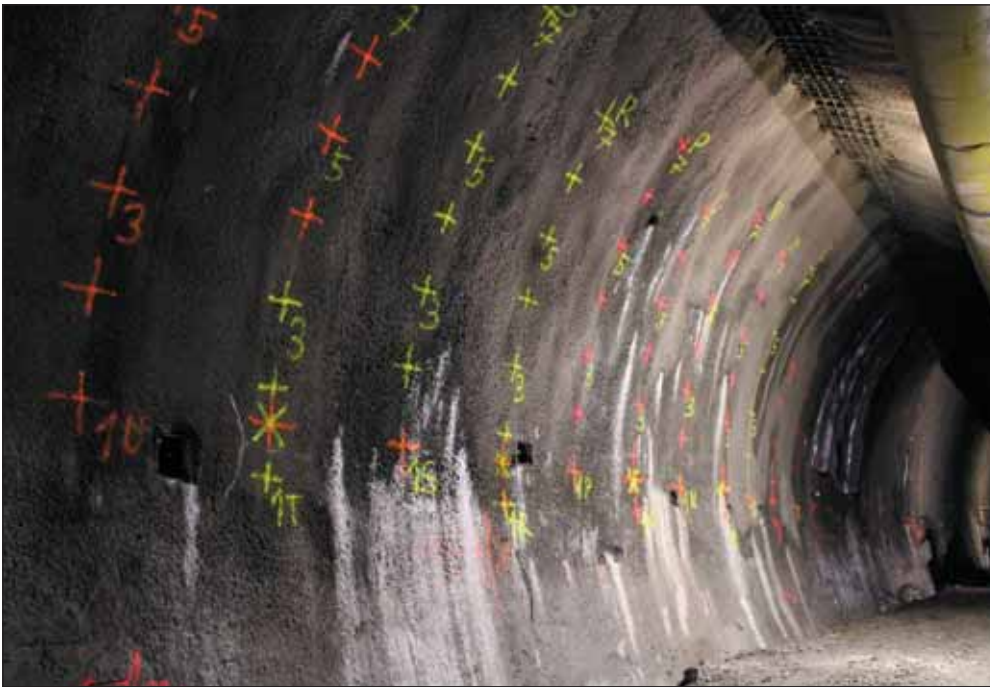
the line section between Pankrác and Budějovická stations.

On the basis of a binding order issued by the Regional Mining Authority for the territory of the Capital City of Prague and the Central Bohemian Region, measures were processed and implemented to ensure the safety of the already finished excavation under the operated metro line C, i.e. at chainage km 42.293740–42.248300 (se Fig. 8).

The measures consisted in the construction of the second partial excavation allowing for the expansion to the full profile of the future double-track tunnel and in carrying out strengthening grouting under the left-hand running tunnel of the operated metro line C.

Prior to the commencement of the work on the expansion of exploratory excavation work, the first stage of high-pressure rock grouting using injection of organic-mineral resins into the space of the future second partial excavation was carried out from the first partial excavation (Fig. 9). The fans of radial pressure grouting started at chainage km 42.299000 and ended at chainage km 42.257000. The individual fans are spaced at 1.5m. Grouting was carried out using steel self-drilling injection rods $\varnothing 32/15$ mm. The collaring points on the external face of the lining are spaced at about 750mm. Sealing and strengthening high-pressure grouting was carried out using organic-mineral-based materials, which proved themselves well during the work on the first partial excavation, with a maximum pressure of up to 80bar.

Subsequently, excavation started using mechanical rock breaking with a Liebherr R924 crawler excavator at the section with the track centre distance of 4.5m, to chainage km 42.293,740.



Obr. 9 Rastr pro zhotovení I. etapy horninových injektáží
Fig. 9 Grid for the work on stage I of rock grouting

staničením km 42,256.057 a km 42,248.300. Následovala ražba pravého druhého dílčího výrubu na plný profil dvoukolejného tunelu.

Pro geotechnické podmínky zastížené v rámci podrobného geotechnického průzkumu byla stanovena náročná technologická třída výrubu NRTM TT5b.2. Důvodem pro použití této třídy byla složitá ražba pod provozovaným tunelem metra C v komplikovaných geotechnických podmínkách, s požadavky na minimální deformace podcházeného tunelu a minimální ovlivnění hladiny podzemní vody. Kalota a opěří tunelu byly zajištěny vrstvou stříkaného betonu C25/30 se dvěma polohami sítě 150x150/8x8 mm, přídavnou výztuží a pomocnými příhradovými oblouky. Tloušťka u klenby druhého dílčího výrubu tunelu při osové vzdálenosti 4,5 m je 450 mm. Pro

was carried out using self-drilling rock bolts 16.0m long, grouted by high-pressure injection (80bar). After the completion of the injection of grout into the face-advance core, the left-hand partial excavation was carried out with re-supporting the previously finished excavation of the oval transition tunnel between chainage km 42.256057 and km 42.248300. Enlarging of the right-hand second partial excavation to the full profile of the double-track tunnel followed.

The demanding excavation support class NATM TT5b.2 was determined for the geotechnical conditions encountered within the framework of the detailed geotechnical investigation. The reason for the application of this class was the complicated excavation under the operated tunnel of metro line C in complex geotechnical conditions, with requirements for minimum deformation of the tunnel being passed under and the minimum impact on the water table. The tunnel top heading and bench were supported by a layer of C25/30 shotcrete with two layers of welded mesh 150x150/8x8mm, additional reinforcement and auxiliary lattice girders. The thickness of the vault of the second partial tunnel excavation section with the track centre distance of 4.5m amounts to 450mm. R32/15 IBO steel self-drilling anchoring rods 6m long (10 pieces per advance step) filled with low-pressure grouting based on organic-mineral materials were used for system anchoring of a part of the double-track tunnel lining. The stability of the excavation of the vault behind the lining of the future tunnel was provided by means of an umbrella



Obr. 10 Ražba druhého dílčího výrubu pod linkou metra C
Fig. 10 Second partial excavation under metro C line

systémové kotvení části ostění dvoukolejného tunelu byly použity ocelové samozávrtné svorníky IBO R32/15 délky 6 m (10 ks na záběr), vyplněné nízkotlakou injektáží na bázi organicko-minerálních hmot. Stabilita výrubu klenby za rubem ostění budoucího tunelu byla zajišťována pomocí jehlového deštníku tvořeného 28 ks ocelových samozávrtných kotevních tyčí dl. 6 m vyplněných převážně nízkotlakovou injektáží na bázi organicko-minerálních hmot. Stabilita čelby byla zajištěna kotvením pomocí samozávrtných ocelových injekčních kotevních tyčí Ø 32/15 mm, délky 16 m s minimálním přesahem 8 m (8 ks v každém osmém záběru) s vysokotlakou injektáží do předpolí výrubu hmotou na organicko-minerální bázi.

Poté následovaly horninové injektáže II. etapy. Cílem těchto injektáží je stabilizace podloží pod provozovaným tunelem. Injektážní pole začíná ve staničení km 42,271.000 a končí ve staničení km 42,250.000. Celkem se jedná o 15 vějířů čítajících v šesti případech trojici vrtů a v devíti případech čtveřici vrtů proměnlivé délky směřujících pod provozovaný levý traťový tunel metra C na trase Pankrác – Budějovická. Těsnicí a zpevňující vysokotlaká injektáž byla provedena dvousložkovými hmotami na organicko-minerální bázi, které se dobře osvědčily již při ražbě prvního výrubu, s maximálním tlakem do 80 barů. V průběhu injektáží docházelo k nepřetržitému vyhodnocování jak u geotechnického monitoringu, tak u směnových stavbyvedoucích zhotovitele, kteří „online“ kontrolovali příčné a podélné deformace levého traťového tunelu.

6. SOUHRN ZÍSKANÝCH ZKUŠENOSTÍ

Základním cílem doplňkového inženýrskogeologického průzkumu bylo získání komplexních inženýrskogeologických, geotechnických a hydrogeologických podkladů a získání informací o celkovém chování horninového masivu v zastiženém prostředí.

Během ražby byla použita technologická třída TT5b.2, ve které je navržena vysokotlaká injektáž v okolí výrubu. Tato technologická třída byla použita v horninách kosovského souvrství, které jsou značně tektonicky porušené a silně rozpukané. Její hlavní funkcí je minimalizace poklesů způsobených snížením hladiny podzemních vod a s tím souvisejícími nežádoucími poklesy provozovaného traťového tunelu trasy metra C, inženýrských sítí a okolních zástaveb v zóně ovlivnění. Během výstavby byly také provedeny pokusné injektáže třemi typy injektážních hmot v předem určeném úseku průzkumného díla.

V současné době je stavební část průzkumného díla dokončena a probíhá údržba raženého díla. Posledním krokem v rámci geologického průzkumu je vyhodnocení získaných informací během výstavby. Tyto veškeré informace budou zohledněny při tvorbě realizační projektové dokumentace I. etapy linky metra D v úseku Pankrác – Olbrachtova.

Ing. RADEK KOZUBÍK, radek.kozubik@hochtief.cz,

Ing. ŠTĚPÁN OBRHEL, stepan.obrhel@hochtief.cz,

Ing. MARTIN ŠPETA, martin.speta@hochtief.cz,

HOCHTIEF CZ a. s.

Recenzoval *Reviewed:* Ing. Vladimír Prajzler

consisting of 28 pieces of 16m long self-drilling grouting anchor rods Ø 32/15mm filled mainly with low-pressure grouting based on organic-mineral materials. The stability of the excavation face was provided by anchoring using 16m long self-drilling grouting anchor rods Ø 32/15mm, with a minimum overlap of 8m (8 pieces in every eighth advance step) with high-pressure grouting with organic-mineral-based material into the face-advance core.

This was followed by stage II rock grouting. The aim of the grouting is stabilising the subgrade under the operated tunnel. The grouting field starts at chainage km 42.271000 and ends at chainage km 42.250000. There are 15 fans in total, consisting of three boreholes in six cases and four boreholes of variable length in nine cases, aiming under the operated left-side running tunnel of metro C line in the Pankrác – Budějovická section. Sealing and strengthening high-pressure grouting was carried out using two-component, organic-mineral-based materials, which have already proved themselves well during the excavation of the first partial excavation, with a maximum pressure of up to 80bar. During the grouting operation, both the geotechnical monitoring results and results of contractor's shift managers, who "online" checked on the transverse and longitudinal deformations of the left-hand running tunnel, were continuously assessed.

6. SUMMARY OF GATHERED EXPERIENCE

The basic objective of the supplementary engineering geological survey was to gather comprehensive engineering geological, geotechnical and hydrogeological data and to obtain information on the overall behaviour of the rock massif in the encountered environment.

During the excavation, the excavation support class TT5b.2 was used, for which high-pressure grouting in the excavation surroundings is designed. This excavation support class was used in the Kosov Formation rock types, which are highly tectonically faulted and heavily fractured. Its main function is to minimise the settlement caused by the depression of the water table and the related undesirable subsidence of the operated running tunnel of metro line C, utility networks and surrounding buildings in the zone of influence.

At present, the civil engineering part of the survey works is completed and the mined structures are being maintained. The last step within the framework of the geological survey is to assess the information obtained during construction. All this information will be taken into account when creating the detailed design for the 1st stage of the metro line D project in the Pankrác – Olbrachtova section.

Ing. RADEK KOZUBÍK, radek.kozubik@hochtief.cz,

Ing. ŠTĚPÁN OBRHEL, stepan.obrhel@hochtief.cz,

Ing. MARTIN ŠPETA, martin.speta@hochtief.cz,

HOCHTIEF CZ a. s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] RŮŽIČKA, J., KOCHÁNEK, M., URBÁNEK, T. Doplňkový geotechnický průzkum v oblasti stanice Pankrác D. *Tunel*, 2019, čís. 1
- [2] TLAMSA, J., ONYSKO, R., ZEMÁNEK, J. Metro I.D – současný stav geologických průzkumných prací na úsecích VO-OL a OL1. *Tunel*, 2020, čís. 4
- [3] Projekt: *Doplňkový geologický průzkum úseku ID1a – úsek VO-OL*. Realizační dokumentace stavby. METROPROJEKT Praha a. s., 2019/2021

VÝSTAVBA BEZBARIÉROVÉHO ZPŘÍSTUPNĚNÍ STANICE METRA KARLOVO NÁMĚSTÍ

CONSTRUCTION OF BARRIER-FREE ACCESS TO KARLOVO NÁMĚSTÍ METRO STATION

PETR LUKA, MARTIN ŠPETA, RADEK KOZUBÍK

ABSTRAKT

Bezbariérové zpřístupnění stanice metra Karlovo náměstí bylo realizováno v letech 2019–2021. V květnu roku 2021 se tato stanice pražského metra stala v pořadí 46. plně bezbariérovou. Provádění prací v intravilánu města v těsné blízkosti okolní zástavby a provozované linky metra B kladlo velké nároky na všechny subjekty podílející se na této technicky složité stavbě. Článek popisuje tento náročný a technicky zajímavý projekt z pohledu zhotovitele činností prováděných hornickým způsobem. Tento článek navazuje na dříve publikované příspěvky v časopisu Tunel č. 1/2020 [2] a č. 1/2021 [3].

ABSTRACT

The barrier-free access to the Karlovo Náměstí metro station in 2019–2021. In May 2021, this Prague metro station became the 46th fully barrier-free station. Carrying out the work in the urban area of the city in the immediate vicinity of the surrounding buildings and the operated metro line B placed great demands on all subjects involved in this technically complex project. The paper describes this demanding and technically interesting project from the point of view of the contractor for activities carried out in a mining-like way. This paper is a follow up to previously published contributions in TUNEL journal No. 1/2020 [2] and No. 1/2021 [3].

1. ÚVOD

Stanice metra Karlovo náměstí je ražená trojlodní stanice v hloubce cca 40 m pod úroveň terénu. Její ostění je provedeno ze železobetonových tubingů. Otevření se datuje ke 2. listopadu 1985. Bezbariérovou se tedy stala téměř po 36 letech od uvedení do provozu.

Zadavatelem stavby bezbariérového zpřístupnění byl Dopravní podnik hlavního města Prahy a.s., zhotovitelem stavebních prací byla společnost „HOCHTIEF – ENERGIE – výťah KN“ s vedoucím společníkem HOCHTIEF CZ a. s. a druhým společníkem Energie – stavební a báňská a.s. Autorem projektové dokumentace byl METROPROJEKT Praha a. s., odpovědným řešitelem průzkumných prací společnost GEOtest, a.s. a obstaravatelem společnost INFRAM a.s. Geotechnický monitoring zajišťovalo sdružení „Geotec + MP + Pudis – Karlovo náměstí“.

První dvojice výtahů je situována do šachty, která začíná v suterénu domu č. p. 2068/14 na ulici Václavská v těsné blízkosti Václavské pasáže a zajiždí do hloubky cca 34 m. Odtud zalomená přestupní chodba převede cestující cca o 63 metrů dále nad stanicí, konkrétně nad její střední loď. K přesunu osob z přestupní chodby na nástupiště stanice Karlovo náměstí je možné využít druhou dvojici výtahů, k dispozici je případně únikové schodiště.

2. GEOLOGICKÉ POMĚRY

Skalní podloží bylo obecně tvořeno sedimentárními uloženinami dobrotivského souvrství (prachovitými až jílovitoprachovitými, jmeně slídnatými břidlicemi). V šachtách se v několika úvodních metrech vyskytovaly fluvialní sedimenty terasy Karlovo náměstí, charakteru slabě hlinitých písků s příměsí drobného štěrku až po hrubý štěrk s příměsí jemnozrnné zeminy. Dále se postupně vyskytovaly silně zvětralé (W4), mírně zvětralé (W3) až navětralé prachovité břidlice (W2), které postupně přecházely v prachovitojílovité zdravé břidlice dobrotivského souvrství (W1). V přestupní chodbě se vyskytovaly pouze prachovitojílovité břidlice, třídy R3–R4.

1. INTRODUCTION

The Karlovo náměstí metro station is a mined three-vault station at a depth of about 40m below ground level. Its lining consists of reinforced concrete segments. The station commissioning dates back to November 2, 1985. It means that it has become barrier-free almost 36 years after commissioning.

The Prague Public Transport Company a.s. was the contracting authority for the construction of the barrier-free access “HOCHTIEF – ENERGIE – výťah KN” with the leading partner HOCHTIEF CZ a. s. and Energie – stavební a báňská a.s. as the second partner was the contractor for construction work. METROPROJEKT Praha a. s. was the author of the design documents, GEOtest, a.s. was the responsible solver to the survey and INFRAM a.s. was the procurer. Geotechnical monitoring was provided by the “Geotec + MP + Pudis – Karlovo náměstí” consortium.

The first pair of lifts is located in a shaft, which begins in the basement of house No. 2068/14 on Václavská street, in the immediate vicinity of the Václavská passage, and goes to a depth of approximately 34m. From this place, a bent transfer corridor will take passengers about 63 metres further above the station, specifically above its central nave. It is possible to use the second pair of lifts for the transfer of people from the corridor to the platform of the Karlovo Náměstí station; there is also an escape staircase available.

2. GEOLOGICAL CONDITIONS

The bedrock was generally formed by sedimentary deposits of the Dobrotiv Formation (silty to clayey-silty, finely micaceous shale). The fluvial sediments of the Karlovo náměstí terrace with the character of weakly clayey sand with an addition of fine-grained gravel to coarse gravel with a mixture of fine-grained soil were present in the shafts in a few initial meters. Further on, there was weathered (W4) shale followed by weathered (W3) to weakly

3. HLOUBENÍ A ZAJIŠTĚNÍ ŠACHET Š1 A Š2

V rámci bezbariérového zpřístupnění stanice metra Karlovo náměstí byly zajištěny a vyhloubeny dvě šachty. Šachta Š1, která je eliptického průřezu o délce os 7,50 m a 5,52 m, hloubky 34,69 m, a šachta Š2 obdélníkového průřezu o délce stran 4,26 × 5,76 m, která od hloubky 22,91 m přechází na eliptický průřez o délce os 7,50 m a 5,52 m až do celkové hloubky šachty 33,8 m. Šachta Š1 sloužila pouze po dobu výstavby pro dopravu stavebního materiálu, odtěžování rubaniny, čerpání vody apod. Šachta Š2 slouží pro dvojicí výtahů, kterými jsou osoby dopravovány směrem z přestupní chodby do uliční úrovně u vstupu do Václavské pasáže ve Václavské ulici.

Šachta Š1 byla zajištěna pomocí pilířů tryskové injektáže o průměru 800 mm a délky 3,5 m. Vyztužení pilířů bylo provedeno ocelovými trubkami průměru 108/16 mm a délky 7,0 m. Celkem bylo provedeno 38 ks těchto pilířů. Jako injektážní médium byla použita směs cementu CEM II B/S 32,5 R a záměsové vody.

Před zahájením hloubení šachty se nejprve provedl ruční předvýkop z důvodu ověření přesné polohy dvou kabelovodů CETIN, mezi kterými šachta prochází, a z důvodu případného vyloučení nebezpečí kolize s jinými neidentifikovanými sítěmi. Předvýkop se po obvodu následně zajistil pažnicemi UNION. Přesah pažnic nad úroveň terénu zároveň zajišťoval funkci ohlubeně. K ohlubeně bylo také po obvodu šachty doplněno trubkové zábradlí výšky 1,1 m.

Před samotným zahájením hloubení šachty Š1 bylo nejprve nutné provést přeložku kanalizačního řádu. Při zahájení hloubení šachty Š1 bylo v jejím prostoru nalezeno vedení potrubní pošty, které nebylo předpokládáno projektem. Následně byl kontaktován správce sítě, který provedl přeložku.

Při hloubení šachty Š1 se postupovalo po jednotlivých záběrech délky 1 metr se strojním způsobem rozpojování horniny za pomoci tunelového rypadla CAT 305 C CR nebo TEREX TC 75 (obr. 1).

Zajištění šachty je provedeno pomocí ocelových příhradových rámu, vrstvou stříkaného betonu SB20/25-X0 J2 v tloušťce min. 250 mm a dvěma vrstvami výztužných sítí 8x8/150x150 mm. Maximální hloubka nevyztuženého výrubu byla 1,4 m. Ve spodní části šachty byly v předstihu provedeny ochranné dešťníky pro rozrážku směrem do přestupní chodby na obě strany (směrem k šachtě

weathered silty shale (W2), which gradually turned into silty-clayey fresh shale of the Dobrotiv Formation (W1). In the transfer corridor, there was only clayey shale, class R3–R4.

3. EXCAVATION AND STABILISATION OF SHAFTS Š1 AND Š2

Two shafts were provided with stabilisation and excavated as part of the barrier-free access to the Karlovo Náměstí metro station. Shaft Š1, with an elliptical cross-section with the axes 7.50m and 5.52m long, respectively, the depth of 34.69m, and shaft Š2 with rectangular cross-section with a length of the sides of 4.26 × 5.76m, which passes from a depth of 22.91m to an elliptical cross-section, with a length of the axes of 7.50m and 5.52m, down to the total shaft depth of 33.8m. Shaft Š1 was used only during the construction period for the transport of construction materials, lifting of muck, pumping of water, etc. Shaft Š2 is used for a pair of lifts, which transport people from the transfer corridor located at the entrance to the Václavská Passage in Václavská Street to the street level.

Shaft Š1 was stabilised by means of 3.5m long jet-grouting columns with a diameter of 800mm. The columns were reinforced with steel pipes with a diameter of 108/16mm and a length of 7.0m. The total of 38 pieces of the columns were carried out. A mixture of CEM II B/S 32.5 R cement and mixing water was used as the grouting medium.

Prior to the excavation of the shaft, a pre-excavated pit was first dug manually to verify the exact position of the two CETIN cable ducts between which the shaft passes and to avoid the risk of collision with other unidentified networks. The pre-excavation was subsequently secured around the perimeter by UNION sheet piles. The overlap of the sheets above ground level also ensured the function of the pit bank. A 1.1m high tubular railing around the perimeter of the shaft was also added to the pit bank.

Before the actual excavation of shaft Š1, it was first necessary to relocate a sewer main. At the beginning of the excavation of shaft Š1, a pneumatic post line was found in the shaft area, which was not anticipated by the design. Subsequently, the network administrator was contacted to carry out the relocation.

During the excavation of the shaft Š1, the individual methods of rock dismantling with the help of the CAT 305 C CR or TEREX TC 75 tunnel excavators were applied to individual 1 metre long advance rounds (see Fig. 1).

The shaft excavation is supported with steel lattice frames, a layer of shotcrete SB20/25-X0 J2 in a minimum thickness of 250mm and two layers of reinforcing welded mesh 8x8/150x150mm. The depth of the unsupported excavation was 1.4m as a maximum. In the lower part of the shaft, canopy roofs were carried out in advance for the tunnel stubs towards the transfer corridor, to both sides (towards the shaft Š2 and towards the station). The canopy roof consisted of 27self-drilling IBO rock bolts with a diameter of 25mm and a length of 6m, injected with cement-based grout. The whole shaft was excavated mechanically without the use of blasting.



Obr. 1 Hloubení šachty Š1 v eliptickém profilu
Fig. 1 Excavation of the elliptical profile shaft Š1

Š2 a směrem do stanice). Deštník byl proveden ze samozávrtných svorníků IBO průměru 25 mm, délky 6 m v počtu 27 ks injektovaných směsí na bázi cementu. Celá šachta byla vyhloubena strojním způsobem bez použití trhacích prací.

V poslední fázi výstavby po provedení definitivního ostění přeštní chodby byla těžní šachta Š1 sanována zaplavením popílkovým stabilizátem HBZS v celém objemu cca 2,5 m pod stávající terén. Popílkový stabilizát byl do šachty ukládán po jednotlivých vrstvách.

Šachta Š2 se nachází přímo v objektu Václavská 2068/14, kde ze suterénu domu probíhalo nejprve zajištění základů domu a poté hloubení šachty. Šachta byla navržena v minimálních rozměrech nezbytných pro montáž dvojice výtahů. Při přípravných pracích byla zjištěna kolize s kanalizací v 1. PP, kde proto byla následně provedena provizorní přeložka. V suterénu domu Václavská 14 bylo také nalezeno neznámé potrubí, které bylo následně identifikováno jako plynové, poté bylo provedeno zaslepení a v prostoru výtahové šachty jeho odstranění. Jelikož se šachta nachází mezi stávajícími základy nosných konstrukcí budovy, bylo nutné odbourat část základů, které byly v kolizi se šachtou, a následně provést podchycení těchto základů pomocí pilířů tryskové injektáže.

Jednotlivé pilíře tryskové injektáže byly o průměru 800 mm a délky 6,0 m. Vyztužení pilířů bylo provedeno ocelovými trubkami průměru 108/16 mm a délky 6,0 m. Celkem bylo v rámci šachty Š2 provedeno 79 ks těchto pilířů.

Před započítím hloubení šachty Š2 bylo nejprve nutné realizovat ohlubňový věnec ze železobetonu C20/25 X0. K ohlubňovému věnci bylo opět doplněno trubkové zábradlí výšky 1,1 m. Šachta Š2 byla původně navržena v celé své délce v obdélníkovém profilu. Z důvodu zjištění špatného stavu sousedící železobetonové zdi stávající budovy během pasportizace došlo k úpravě projektu. Ve spodní části šachty, konkrétně v hloubce 22,9 m pod terénem, přechází šachta ve dvoumetrovém úseku z obdélníkového profilu na staticky výhodnější eliptický tvar, a to pro minimalizaci ovlivnění budov na terénu. Horní část šachty, která je obdélníkového profilu, byla hloubena po metrových záběrech a zajištěna pomocí válcovaných profilů HEB 160 v rozích doplněných o rozpěrné trubky TR 114/8 mm (12 rámu v horní části šachty), resp. TR 140/10 mm (12 rámu ve spodnější

In the last phase of construction, after completion of the final lining of the transfer corridor, the whole volume of the hoisting shaft Š1 was inundated with HBZS fly ash stabiliser, approximately 2.5m below the existing terrain. The fly ash stabiliser was being deposited in the shaft in individual layers.

Shaft Š2 is located directly in the Václavská 2068/14 building, from where the basement of which the foundations of the house were secured first and then the shaft excavation was carried out. The minimum dimensions necessary to assemble a pair of lifts were designed for the shaft. During the preparatory work, a collision with the sewerage system was found at the 1st basement level, where a temporary relocation was subsequently carried out for that reason. An unknown pipeline was in addition found in the basement of the Václavská 14 building. It was subsequently identified as a gas pipeline; it was subsequently blinded and removed from the area of the lift shaft. Since the shaft is located between the existing foundations of the load-bearing structures of the building, it was necessary to demolish some of the parts that collided with the shaft, and then to underpin these foundations using jet grouting columns.

The individual pillars of jet grouting were 800mm in diameter and 6.0m long. The individual jet grouting pillars were reinforced with 108/16mm in diameter and 6.0m long steel tubes. A total of 79 pieces of these pillars were carried out within the framework of shaft Š2.

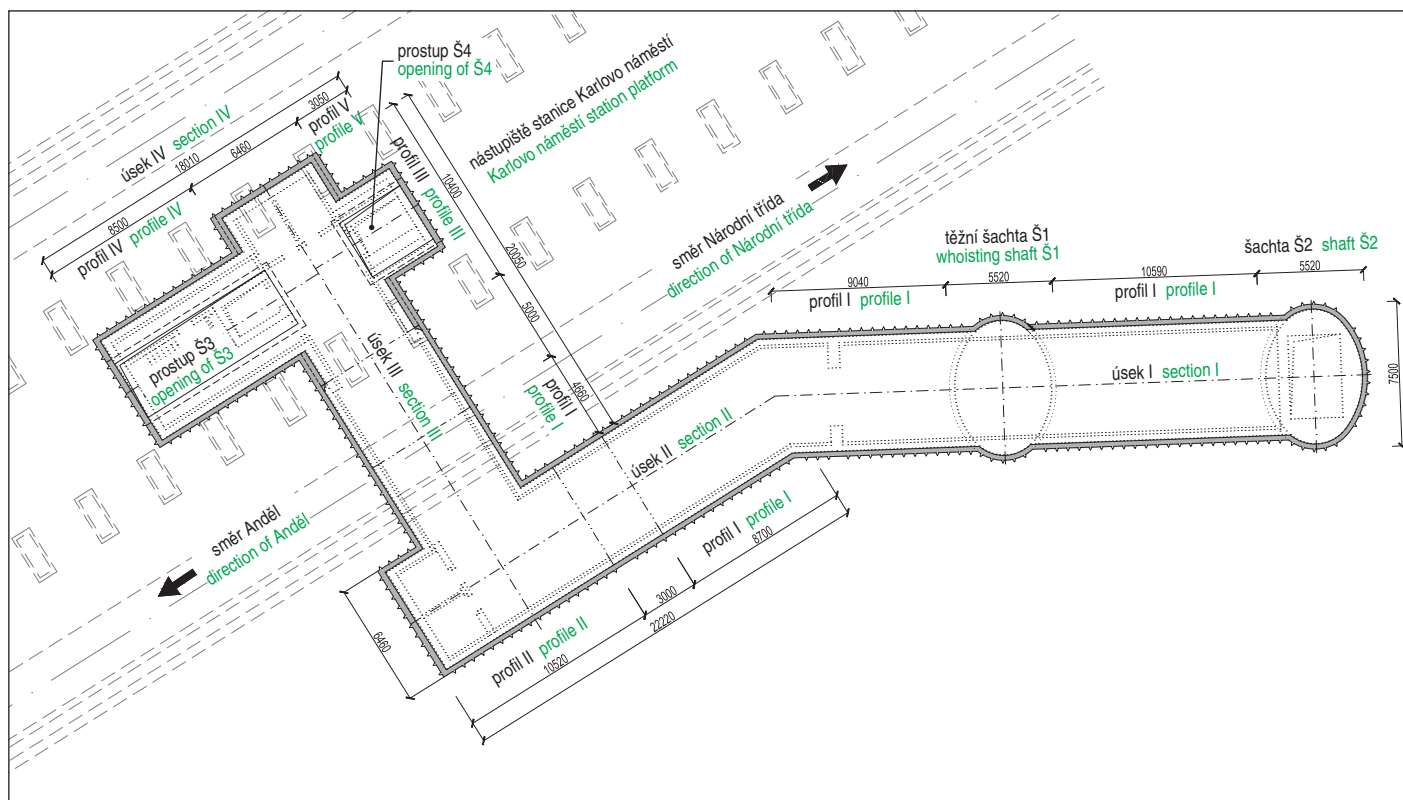
Before the excavation of shaft Š2 began, it was first necessary to carry out a shaft collar made of C20/25 X0 reinforced concrete. A 1.1m high tubular railing was again added to the shaft collar. A rectangular profile was originally designed for the whole length of shaft Š2. The design was modified because of the finding of a poor condition of the reinforced concrete wall adjacent to the existing building during the condition survey. In the lower part of the shaft, specifically at a depth of 22.9m below the ground, the shaft passes along a two metre long section from a rectangular profile to a statically more advantageous elliptical profile, in order to minimise the influence of buildings on the ground surface. The upper part of the shaft, with a rectangular profile, was excavated in one metre long (deep) rounds and supported using HEB 160 rolled-steel sections, in the corners complemented by TR 114/8mm bracing tubes (12 frames in the upper part of the shaft), respectively TR 140/10mm (12 frames in the lower part of the shaft) and by C20/25–X0 shotcrete 250mm thick and two layers of KARI welded mesh 8x8/150x150mm (see Fig. 2).

Atypical lattice steel frames were used instead of rolled-steel sections at the point where shaft Š2 profile passes from rectangular to elliptical. In the lower part of the shaft, the same lattice frames were used as were those applied to the excavation of shaft Š1. The support was again supplemented by a C20/25 X0 shotcrete layer 250mm thick and two layers of KARI welded mesh 8x8/150x150mm. In the lower part of the shaft, a canopy roof formed by IBO anchors with a diameter of 25mm and a length of 6m, injected with a cement-based mixture, was carried out in advance above the contour of the transfer corridor.

The bottom of shaft Š2 is deepened with regard to the construction of a



Obr. 2 Hloubení šachty Š2 v obdélníkovém profilu
Fig. 2 Excavation of the rectangular profile shaft Š2



Obr. 3 Půdorys přestupní chodby
Fig. 3 Transfer gallery ground plan

části šachty), stříkaným betonem C20/25–X0 tl. 250 mm a dvěma vrstvami KARI sítě 8x8/150x150 mm (obr. 2).

V místě, kde šachta Š2 přechází z obdélníkového tvaru na eliptický, byly místo válcovaných profilů použity atypické ocelové příhradové rámy. Ve spodní pasáži šachty jsou použity stejné příhradové rámy, jako byly použity při hloubení šachty Š1. Zajištění bylo opět doplněno o stříkaný beton C20/25 X0 tl. 250 mm a o dvě vrstvy KARI sítě 8x8/150x150 mm. Ve spodní části šachty byl nad obrysem přestupní chodby v předstihu proveden deštník z IBO kotev průměru 25 mm a délky 6 m injektovaný směsí na bázi cementu.

Dno šachty Š2 je více prohloubeno s ohledem na zřízení čerpací jímky a také z důvodu dojezdu dvojice výtahů. Čerpací jímka byla provedena tak, aby umožňovala vodotěsné sevření hydroizolačního souvrství a zainjektování po dokončení definitivního ostění.

Rozpojování horniny v šachtě Š2 bylo prováděno vzhledem ke stísnějším podmínkám rypadlem JCB 8032 o hmotnosti 3,2 tuny. Šachta byla vyhloubena převážně strojním způsobem rozpojování horniny s výjimkou spodní části, kde byly celkem ve 14 záběrech použity trhačí práce v kombinaci se strojním rozpojováním.

4. RAŽBA PŘESTUPNÍ CHODBY A PRŮNIK DO STANICE

4.1 Ražba přestupní chodby

Vzhledem ke stavbě v intravilánu města a potřebě propojit dvě pevně daná místa, jedno na povrchu a druhé v podzemí ve stanici metra, byla projektovou dokumentací ražba přestupní chodby rozdělena na čtyři úseky a pět různých profilů se dvěma přechodovými úseky. Výsledný tvar ražeb přístupové chodby celkové délky 73,45 m je dobře patrný z půdorysu (obr. 3).

Pro úsek I. o délce 10,59 m mezi šachtami Š1 a Š2 s plochou teoretického výrubu 31,67 m² byl použit jednotný „Profil I.“

Úsek II. je směrově zalomen tak, aby mohl být veden rovnoběžně se stanicí metra. Byl členěn na „Profil I“ v délce 17,74 m, přecho-

pumping sump and also due to the pit for a pair of lifts. The pumping sump was designed to allow watertight clamping of the waterproofing layer and grouting after the completion of the final lining.

The breaking of the rock in shaft Š2 was carried out due to the more constricted conditions using a JCB 8032 excavator with the weight of 3.2 tonnes. The shaft was excavated mainly by mechanical breaking of the rock, with the exception of the lower part, where a total of 14 excavation rounds were excavated by blasting in combination with mechanical rock breaking.

4. EXCAVATION OF THE TRANSFER CORRIDOR AND ENTRY TO THE STATION

4.1 Excavation of transfer corridor

With respect to the construction operations in the urban area and the need for connecting two firmly given places, one on the surface and the other in the underground in the metro station, the design documents divided the transfer corridor into four sections and five different profiles with two transition sections. The resulting shape of the excavation of the access corridor with a total length of 73.45m is clearly visible from the ground plan (see Fig. 3).

A uniform “Profile I” was applied to section I with the length of 10.59m, between shafts Š1 and Š2, with a theoretical excavation face area of 31.67m².

Section II is bent directionally so that it can run in parallel to the metro station. It was divided into a 17.74m long section with “Profile I”, a 3m long transition part, which passed into a 10.52m long section with “Profile II” with a theoretical excavation face area of 38.13m².

Excavation of section III started from section II, first perpendicular to the metro station in “Profile I” in the length of 4.66m. This was followed by a 5m long transition section to the largest profile of the “Profile III” transfer corridor with a theoretical excavation face area of 44.68m² and the section length of 10.40m. The reinforced shotcrete primary lining during the excavation of the largest profile,

dovou část v délce 3 m, která přecházela do „Profilu II“ s plochou teoretického výrubu 38,13 m² v délce 10,52 m.

Z úseku II. byl kolmo ke stanici metra rozražen úsek III. nejdříve v „Profilu I“ v délce 4,66 m. Následovala přechodová část v délce 5 m na největší profil přestupní chodby „Profil III“ s plochou teoretického výrubu 44,68 m² a délkou úseku 10,40 m. Za zmínku stojí i zesílené primární ostění při ražbě největšího profilu, které je tvořeno dvěma vrstvami stříkaného betonu. Po dokončení první vrstvy byly navrtány kotvy pro uchycení KARI sítě, které byly zastříhány druhou vrstvou stříkaného betonu zesíleného ostění. Z profilu III., vedeného kolmo ke stanici metra, byly provedeny rozrážky rovnoběžně s osou stanice pro samotné výtahy a únikové schodiště. Jako první byl vyražen nejmenší profil V s plochou teoretického výrubu 27,40 m² v délce 3,05 m pro jeden z výtahů. Následovala rozrážka profilu IV s plochou teoretického výrubu 35,64 m² v délce 8,50 m. V této rozrážce je situován druhý výtah včetně únikového schodiště.

Ražba přestupní chodby byla dělena horizontálně na kalotu a spodní klenbu. Ke stabilizaci díla bylo použito dvou vrstev KARI sítě 8x8/150x150 mm, stříkaný beton SB20/25 min. tl. 250 mm, příhradový výtuzný rám, radiální kotvení a jehlování přístropí samozávrtnými kotevními tyčemi IBO. Rozpojování horniny probíhalo v celé trase přestupní chodby strojním způsobem za použití strojů CAT 305 CCR, Schaeff Terex TC75, Schaeff Terex HR18. Odtěžování rubaniny pak čelním nakladačem Locust 903 a Komatsu WA 65. Těmito stroji byla rubanina nakládána do těžních van a otočným pásovým jeřábem RDK 300 těžena na povrch. Zde byly následně těžní vany naplněné rubaninou odváženy nákladními auty.

Ražba byla zahájena po dohloubení těžní šachty Š1 směrem k výtahové šachtě Š2. Po vyražení a zajištění osmého příhradového rámu z celkových jedenácti byly práce v tomto směru ražby zastaveny. Byl ponechán horninový celík k výtahové šachtě Š2 a ražby pokračovaly směrem ke stanici metra Karlovo náměstí. Průnik přestupní chodby a výtahové šachty Š2 byl realizován dohloubením šachty Š2 s následnou dobírkou horninového celíku (obr. 4).

Vzhledem k příznivému průběhu deformací, které byly velmi pečlivě sledovány nejen v ražené části, ale také na povrchu a zejména pak v samotné stanici metra, byl naplno využit observační

consisting of two layers of shotcrete, is also worth mentioning. After the completion of the first shotcrete layer, holes for anchors for fixing KARI welded mesh were drilled. The mesh was subsequently covered with the increased-thickness second shotcrete layer. The tunnel stub for the excavation of the lifts and escape staircase, which led perpendicularly to the metro station, was carried out in profile III. The tunnel stub for the smallest profile V for one of the lifts, with the theoretical excavated area of 27.40m², was carried out first at a length of 3.05m. The excavation of profile IV with the theoretical excavated area of 35.64m² followed at the length of 8.50m. The second elevator, including the escape staircase, is located in this tunnel stub.

The excavation sequence of the transfer corridor was divided horizontally into top heading and invert. Two layers of KARI mesh 8x8/150x150mm, SB20/25 shotcrete with minimum thickness of 250mm, a lattice supporting frame, radial anchors and IBO self-drilling rod anchors were used to stabilise the top heading. The rock was being broken along the entire route of the transfer corridor mechanically using CAT 305 CCR, Schaeff Terex TC75 and Schaeff Terex HR18 excavators. Muck was loaded by front-end loaders Locust 903 and Komatsu WA 65. With these machines, the muck was loaded into tanks and lifted to the surface by a rotary crawler crane RDK 300. Here, the tanks filled with muck were disposed off by lorries.

The excavation towards the elevator shaft Š2 started after the completion of the excavation of hoisting shaft Š1. After the completion of the excavation and installation of the eight lattice frames out of a total of eleven, the work in this direction of the excavation was stopped. A block of rock in the direction of the Š2 lift shaft was left untouched and the excavation continued towards the Karlovo Náměstí metro station. The excavation of the intersection of the transfer corridor with the lift shaft Š2 was carried out by completing the excavation of Š2 to the bottom, with subsequent drawing back the omitted block of rock (see Fig. 4).

Taking into consideration the favourable development of deformations, which were very carefully monitored not only in the mined part, but also on the surface and especially in the metro station itself, the observational principle of the New Austrian Tunnelling



Obr. 4 Průnik přestupní chodby s šachtou Š2

Fig. 4 Intersection of transfer corridor with shaft Š2

princip Nové rakouské tunelovací metody. Spodní klenba se tak uzavírala podle výsledků měření, jednání Rady monitoringu a požadavků projektanta. Před rozrážkou profilu IV byl například požadavek uzavřít spodní klenbu profilu III v celé délce.

Důležitým milníkem nejen ražeb, ale průběhu celé stavby byla realizace průvrtu do stanice. Ten sloužil nejen pro geodetické ověření napojení trasy přestupní chodby, ale zejména pak pro zásobování betonem do stanice metra.

Podmínkou pro propojení podzemních děl bylo nejen uzavření profilu III, IV a V přestupní chodby spodní klenbou, ale zejména dokončení železobetonových konstrukcí ve stanici. Jednalo se o betonáž základů, stěn výtahových šachet a v neposlední řadě masivních průvlaků, které byly betonovány poslední. Zásadním požadavkem projektu pro demontáž železobetonových tubingů stanice metra byla požadovaná pevnost betonu právě těchto průvlaků. Nárůst pevnosti průvlaků a jejich požadovaná výsledná pevnost byla zkoušena nedestruktivní metodou Schmidovým kladívkem v týdenním intervalu.

Při realizaci spodní klenby v profilech IV a V, které byly raženy v ose stanice přibližně 1 m nad tubingy, byly objeveny různé typy sanačních prací, kterými byl stabilizován postup ražby stanice při její realizaci v letech 1979–1985.

Jednalo se např. o vyplnění volných prostor nasucho uloženými betonovými deskami přibližně $0,3 \times 1,2$ m tl. 50 mm. Dalšími stabilizujícími prvky pak byly různé typy provedených injektáží, a to cementových i chemických. Nejvíce technicky a časově náročné bylo zmáhání kombinace dřevěné, oplechované a cementem proinjektované hráze. Takto zajištěný prostor se podařilo v nutném rozsahu budoucího profilu částečně za pomoci strojního rozpojování, ale zejména s velkým podílem lidské práce, vyrabovat za dva dny. Jednalo se o rohovou část budoucí schodištvé šachty v kontaktu se stávajícím ostěním stanice.

Po realizaci spodních klenb následovalo dohloubení šibíku výtahové šachty Š3 z profilu IV a rozepření čtyřmi kusy rozpěr z masivních ocelových profilů každého s únosností 572 kN. Poté byl dohlouben šibík na úroveň stanice i z profilu V. Vzhledem k zastížení historických sanačních prací realizovaných při ražbě stanice, zejména pak nasucho vyskládaných betonových desek, se naplno využily sanační injektáže.

4.2 Průnik do stanice

Po dokončení sanačních injektáží a dozrání betonu průvlaků na požadovanou pevnost následovala demontáž stávajícího ostění stanice ze železobetonových tubingů. Ta byla zahájena v předstihu snahou o povolení šroubů vzájemně spojujících jednotlivé tubingy z vnitřní strany stanice. Nepodařilo se však uvolnit asi 2/3 šroubů. Proto bylo použito jádrové vrtání v místě spojů. Vzhledem k jednoduššímu vrtání na rovné pracovní podlaze z tubingů ze strany prováděné ražby, kdy bylo nutné kotvit jádrovou vrtačku, se vrtalo z vnější strany stanice směrem dovnitř. To znamenalo do vytažení prvního tubingů jen přibližný odhad na určení správné pozice šroubů. Přestože byla provedena sonda dlouhým vrtákem a následně ocelovým prutem, od kterého se na rubu i na líci odměřovala vzdálenost pozice šroubů, nebylo možno přenést z pohledové strany stanice s dostatečnou přesností pozici šroubů na rub tubingů, a to zejména vzhledem k zaoblení a zkosení hran tubingů. Neven proto byl nejprve jádrově odvrtán téměř po celém obvodu nejmenší dílec o rozměru $0,75 \times 0,5$ m, ale také z důvodu sevření uzavřeného prstence tubingů.

Jednotlivé tubingy měly obvodové spáry v podélné ose stanice opatřeny půlkruhovým žlábkem, který byl vyplněn injektáží nebo

Method was fully used. The invert was thus closed according to the results of measurements, meetings of the Monitoring Board and requirements of the designer. For example, there was a requirement for closing the invert of profile III along its entire length prior to the opening of the excavation of profile IV.

An important milestone not only in the excavation procedure but also in the course of the entire construction was drilling of a borehole into the station. It served not only for verification of the connection of the transfer corridor route by surveyors, but especially for supplying concrete to the metro station.

The condition for the connection of the underground works was not only the closure of the profiles III, IV and V of the transfer corridor by the invert, but especially the completion of reinforced concrete structures in the station. It was necessary to concrete the foundations, the walls of the elevator shafts and, last but not least, the massive bearing beams, which were concreted last. The fundamental requirement of the design for dismantling the reinforced concrete lining segments of the metro station lay in the required strength of concrete of those bearing beams. The increase in the strength of the bearing beams and their required final strength were tested by a non-destructive method using the Schmidt hammer at weekly intervals.

During the construction of the invert in profiles IV and V, which were excavated on the station axis approximately 1m above the lining segments, various types of rehabilitation operations which stabilised the excavation process of the station during the work in 1979–1985 were discovered.

The rehabilitation operations comprised, for example, the filling of free spaces with dry-laid 0.3×1.2 m concrete slabs approximately 50mm thick, various types of grouting, both cementitious and chemical. The most technically and time consuming was removing of a combination of a wooden, steel sheeted and cement-injected dam. The space secured in this way was successfully emptied in two days, partly with the help of mechanical rock breaking, but especially with a large share of human labour. It was the corner part of the future stairwell in contact with the existing lining of the station.

The construction of the inverts was followed by the completion of deepening of the lift shaft Š3 from profile IV and bracing with four pieces of braces from massive steel sections, each with a loading capacity of 572kN. Then the excavation of the staple shaft was completed to the level of both the station and the V profile. Due to the occurrence of historic rehabilitation operations carried out during the excavation of the station, especially the dry-laid concrete slabs, the rehabilitation grouting was fully used.

4.2 Penetration to the station

After the completion of rehabilitation grouting and end of curing of the concrete of the bearing beams after reaching the required strength, the existing reinforced concrete lining of the station was dismantled. The dismantling operation started in advance by efforts to loosen the screws connecting the individual segments from the inside of the station. However, loosening of about 2/3 of the screws failed. Due to the easier drilling on a flat working floor formed by lining segments from the side of the excavation, where it was necessary to anchor the core drilling machine, drilling was carried out from the outside of the station inwards. This meant that the correct position of the screws was estimated only roughly until the first segment was drawn out. Although a probe was carried out using a long drill and then a steel rod, from which the distance of the position of the screws was measured on the internal and external sides, it was not possible to transfer the position of the screws on the visible side of the station to the external side of the segment with sufficient accuracy, especially due to the rounding and tapering of the segment edges. Not only



Obr. 5 Průběh demontáže tubingů
Fig. 5 Lining segments disassembly process

zálivkou. V této rovné části tubingů byly navíc vloženy ocelové pruty o průměru 32 mm (obr. 5).

Vzhledem k zakřivení tubingů, masivním žebřům, omezené možnosti nastavení úklonu jádrového vrtání a použitým kotevním prutům v zálivce byl i druhý segment ostění o rozměru 0,75 × 2,5 m z velké části odvrtnán.

Demontovaná část tubingů byla tvořena jedním větším a jedním menším tubingem, které se pak pravidelně ve své dispozici střídaly. Po demontáži prvního páru byly již možnosti rozpojování příznivější. Přesto trvala hrubá demontáž ostění železobetonových tubingů stanice metra cca sedm dní. Poté následovalo ruční dočištění a příprava povrchu pro instalaci hydroizolačního souvrství.

5. ZHOTOVENÍ HYDROIZOLAČNÍHO SOUVRSTVÍ

Systém provedení hydroizolace byl v dokumentaci pro výběr zhotovitele umožněn v obou základních typech jak stříkaný, tak fóliový. V dopracování projektu pro provedení stavby bylo podle požadavku zhotovitele detailně rozpracováno použití fóliové hydroizolace. Konstrukce přestupní chodby a výtahové šachty Š2 je ve výsledku opatřena proti působení podzemní vody uzavřeným mezilehlým hydroizolačním souvrstvím realizovaným mezi primární ostění ze stříkaného betonu a definitivní ostění z monolitického železobetonu. Jedná se o dvoustvrstvý systém geotextilie o plošné hmotnosti 800 g/m² a PVC fólie Mapeplan TU HE 31 o minimální tloušťce 3 mm s oranžovou signální vrstvou.

Před samotnou realizací hydroizolace bylo nutné stěny šachty a přestupní chodby řádně zprofilovat a odstranit veškeré pomocné konstrukce, úchyty pro média, konvergenční body apod. V této fázi bylo zajímavostí odstraňování rohových rozpěr v šachtě Š2. Jednalo se o trubky TR114/8 a 140/10, které bylo nutné demontovat ve třech řadách, tedy 12 ks při každém posunu pracovní plošiny. Toto bylo časově a organizačně náročné v souběhu dalších prací.

Geotextilie je připevněná k podkladu ze stříkaného betonu pomocí nastřelovacích fixačních disků „PVC disk MAPEI“. Fóliová hydroizolace je následně k těmto terčům pomocí horkovzdušných pistolí přitavena. Množství terčů na m² volil dodavatel na základě zkušeností a členitosti povrchu konstrukce. Například v místech křížení bylo množství terčů násobně vyšší, aby bylo možné fólii řádně vytvarovat a nebyla tak namáhána tahem. V rozsahu dna šachty Š2 a přestupní chodby pak byla hydroizolace ochráněna dvěma vrstvami geotextilie o plošné hmotnosti 1000 g/m². Ve všech pracovních i dilatačních spárách byly vloženy těsnicí spárové pásy s pojistným systémem injektážních hadiček. Tyto jsou

pro tento důvod, ale také kvůli zatlačení uzavřeného kruhu segmentů, nejmenší segment měřící 0,75 × 0,5 m byl nejprve vrtán kolem celé obvodu.

Okružní spoje jednotlivých segmentů byly poskytnuty s půlkruhovou rýhovou vlnou v směru podélné osy stanice. Byla vyplněna maltou nebo spojovací hmotou. Kromě toho byly v této rovné části segmentu vloženy ocelové tyče 32 mm v průměru (viz obr. 5).

Vzhledem k zakřivení segmentů, masivním žebřům, omezené možnosti nastavení úklonu jádrového vrtání a použitým kotevním prutům v zálivce byl i druhý segment ostění o rozměru 0,75 × 2,5 m z velké části odvrtnán.

Demontovaná část segmentálního ostění tvořila jeden větší a jeden menší segment, které se pak pravidelně střídaly. Po demontáži prvního páru byly již možnosti rozpojování příznivější. Přesto trvala hrubá demontáž ostění železobetonových segmentů stanice metra cca sedm dní. Poté následovalo ruční dočištění a příprava povrchu pro instalaci hydroizolačních vrstev.

5. INSTALLATION OF WATERPROOFING LAYERS

The tender design allowed for both basic systems of waterproofing, i.e. the sprayed-on and membrane-based systems. According to a contractor's request, the use of membrane waterproofing was elaborated in detail in the completion of the final design. In the result, the structure of the transfer corridor and lift shaft Š2 is protected against the action of groundwater by closed intermediate waterproofing layers installed between the shotcrete primary lining and the monolithic reinforced concrete final lining. The system consists of two layers, an 800g/m² geotextile and a Mapeplan TU HE 31 PVC membrane with minimum thickness of 3mm, with an orange signal layer.

Prior to the actual installation of the waterproofing, it was necessary to carry out proper profiling of the walls of the shaft and the transfer corridor and remove all auxiliary structures, holders for media, convergence points, etc. At this stage, an interesting operation was to remove the braces in shaft Š2. The TR114/8 and 140/10 bracing pipes had to be dismantled in three rows, i.e. 12 pieces, each time the work platform was shifted. It was time-consuming and organisationally demanding in the course of other operations running in parallel.

The geotextile is attached to the shotcrete substrate by means of MAPEI PVC roundels fixed with cartridge hammers. The waterproofing membrane is subsequently welded to the roundels using heat guns. The number of targets per m² was chosen by the contractor based on the experience and articulation of the construction surface. For example, at crossing points, the number of roundels was many times higher so that the membrane could be properly shaped and not subjected to tensile stress. In the area of the bottom of the shaft Š2 and the transfer corridor, the waterproofing was protected by two layers of geotextile with a weight of 1000g/m². Sealing waterbars with a safety system of grouting hoses were inserted in all construction and expansion joints. The hoses are brought into boxes on the face of the final lining. Chemical grouting is considered as the safety system.

Due to the segmentation of the structure and the required completion date of the construction works, all standard operations (excavation, waterproofing and final lining) took place at the same time. During the excavation of the transfer corridor, the waterproofing and final lining were installed in the elevator shaft Š2.

svedeny do krabic na líci definitivního ostění. Jako pojistný systém je uvažována chemická injektáž.

Vzhledem k členitosti stavby a požadovanému termínu dokončení realizace stavby probíhaly všechny standardní operace (ražba, hydroizolace a definitivní ostění) zároveň. V průběhu ražeb přestupní chodby tak byla ve výtahové šachtě Š2 realizována hydroizolace a definitivní ostění. V šachtě Š2 byla hydroizolace realizována v závislosti na definitivním ostění, tedy po jednotlivých betonážních sekcích. Toto bylo jednodušší, časově méně náročné a zejména méně rizikové na poškození hydroizolace ve svislém díle. Lešení s pracovní podlahou tak bylo přidáváno pro každý záběr hydroizolace a definitivního ostění jen jednou. Nicméně mezi realizací jednotlivých sekcí hydroizolace vznikala asi týdenní prodleva.

Pro stavbu to znamenalo vyšší nároky na koordinaci prací a časovou návaznost jednotlivých pracovních operací. Tomu odpovídala i dvouměsíční přestávka dodavatele hydroizolace před dalším pokračováním prací, které pokračovaly detailem napojení v místech prostupů do stanice metra. Tento detail řešil dodavatel na základě zkušeností z obdobných staveb například stavby metra v Kodani.

Jednalo se o použití flexibilní hydroizolační těsnicí pásky z PVC (Sikadilatec), která je na jedné straně nalepena epoxidovou maltou Sikadur 31 přímo na tubingy stanice metra. Na tu se následně ručně termicky přilepila PVC fólie Mapeplan TU HE 31. Detail byl navíc opatřen pojistným systémem injektážních hadic a dvěma bitumenovými bobtnavými pásky (obr. 6).

In shaft Š2, the waterproofing was installed depending on the final lining, i.e. in individual concrete casting sections. This operation was simpler, less time consuming and especially less risky for damaging the waterproofing in the vertical shaft. Scaffolding with a working platform was added only once for each advance step of the waterproofing and final lining installation. However, there was a delay of about one week between the installation of individual sections of waterproofing.

For the construction, this meant higher demands on the coordination of work and the time sequence of individual work operations. The two-month interruption in the work of the waterproofing contractor before the continuation of work corresponded to it. The work continued on the details of the connections at the openings to the metro station. This detail was solved by the contractor on the basis of experience from similar construction projects, such as the construction of the Copenhagen metro.

It was a case of the use of a flexible PVC (Sikadilatec) waterproofing gasket, which is glued on one side with epoxy mortar Sikadur 31 directly to the segments of the metro station lining. The Mapeplan TU HE 31 PVC membrane was then thermally glued to it by hand. The detail was additionally provided with a safety system of grouting hoses and two bituminous swelling waterbars (see Fig. 6).

In the lift shaft Š3 with an escape staircase, the work on the waterproofing was complicated by massive braces, which could not be removed until the final lining had been carried out approximately 30cm below the braces.



Obr. 6 Napojení hydroizolace v místě průniku do stanice
Fig. 6 Connection of waterproofing layers at the penetration into the station



Obr. 7 Průnik těžní šachty Š1 a přestupní chodby
Fig. 7 Intersection of hoisting shaft Š1 with transfer corridor

As a result, details originated on the structure that could not be solved without hand patches. This also concerned the detail of the intersection of the mining shaft Š1 with the transfer corridor (see Fig. 7).

Therefore, regular tests and acceptances were part of the work on the waterproofing. The basic test, especially for hand patches, is the so-called needle penetration test. Furthermore, a vacuum test is used for manual welds, in which a maximum vacuum of 0.4bar is created for approximately for 1 minute with the help of a vacuum bell. A pressure test is used for mechanically made welds. During mechanical welding, the channel formed between two welds is tested by approximately 2bar pressure; the pressure drop is monitored at 10 minute intervals. The result is satisfactory if the pressure does not drop by more than 10%.

6. FINAL LINING

The design of permanent reinforcement in terms of aggressive effects of water on concrete structures was conducted correctly for the given construction locality. Groundwater here has a low degree of aggression – XA1. The construction was divided into several phases. In the first phase, the final lining of the lift shaft Š2 was carried out; in the second phase,

Ve výtahové šachtě Š3 s únikovým schodištěm byly práce na hydroizolaci komplikovány masivními rozpěrami, které nebylo možné demontovat do zhotovení definitivního ostění cca 30 cm pod rozpěry.

Na projektu tak vznikaly detaily, které se neobešly bez ručních záplat. To se týkalo i detailu průniku těžní šachty Š1 a přestupní chodby (obr. 7).

Součástí realizace hydroizolací proto byly pravidelné zkoušky a přejímky. Základní zkouškou zejména u ručních záplat je tzv. test jehlou. Dále se u ručních svarů používá vakuový test, kdy se za pomoci vakuového zvonu vytvoří max. podtlak 0,4 bar na dobu přibližně 1 minuty. U strojně vytvořených svarů se používá tlaková zkouška. Při strojním svařování se zkouší kanálek vzniklý mezi dvěma svary na tlak přibližně 2 bary, přičemž se sleduje pokles tlaku po 10 minutách. Výsledek je vyhovující, pokud nedojde k poklesu tlaku o více než 10 %.

6. DEFINITIVNÍ OSTĚNÍ

Návrh trvalé výztuže z hlediska agresivních účinků vody na betonové konstrukce byl pro danou lokalitu navržen správně. Podzemní voda má zde nízký stupeň agresivity – XA1. Stavba byla rozdělena do několika fází. V první fázi bylo zhotoveno definitivní ostění výtahové šachty Š2, v druhé fázi byly provedeny v souběhu s ražbami vnitřní nosné rozpěrné konstrukce střední loď stanice. Provedení těchto činností a dosažení požadované pevnosti betonu rozpěrných konstrukcí bylo nezbytnou podmínkou pro možné doražení spodní klenby přestupní chodby v úseku IV. V třetí fázi po demontáži kolizních tubingů v místě prostupů do stanice byl proveden nosný skelet v přestupní chodbě. Přestupní chodba byla rozdělena na tři dilatační úseky, výtahová šachta Š2 na dva, a to z důvodu nutnosti vložení vibroizolace do dilatační spáry.

6.1 Výtahová šachta Š2

Definitivní ostění výtahové šachty je provedeno z betonu C30/37–XA1, XC2–CI 0,2–D_{max} 16 mm. Ostění v podzemní části bylo tvořeno deseti bloky s označením BS101–BS110 o celkové délce 33,80 m a v nadzemní části od suterénu po 1. NP dvěma bloky s označením BS111–BS112 o celkové délce 6,61 m. Typická tloušťka konstrukce byla 450 mm. V části, kde šachta měnila tvar z elipsy na obdélník, dosahovala tloušťka až 1320 mm. Vnitřní tvar je obdélníkový o rozměrech 2,7 × 4,3 m, se svislou drážkou pro chráničky elektroinstalace o rozměrech 0,1 × 0,6 m ve svislé ose stěny na straně k přestupní chodbě.

Sekce BS101 a BS102 byly v průniku do přestupní chodby ukončeny dilatační spárou s vloženou vibroizolací SYLODYN NC 25 tloušťky 25 mm. Mezi bloky BS107 a BS108 byla dilatační spára, do které byla v celé délce uložena akustická vibroizolace SYLODYN NE 25 tloušťky 25 mm. Tato izolace byla instalována v celé ložné i svislé spáře dobetonávek nosných konstrukcí na styku suterénu a 1.NP.

Ve dně výtahové šachty byla zřízena dočasná jímka kruhového tvaru pro jímání podzemních vod. Po instalaci hydroizolačního souvrství a montáži armatury byla provedena betonáž tak, aby nedošlo k zabetonování této jímky. Její funkce musela být zachována do doby dokončení definitivních konstrukcí nejenom ve výtahové šachtě, ale i v přestupní chodbě.

Poté následovaly v proudovém sledu činnosti na dalších sekcích. Bednění bylo zhotoveno ze systémových prvků TRIO dodavatele PERI a.s. Pro zajištění pracovní polohy byla ve spodní části daného záběru pracovní plošina, jež byla zajištěna pomocí 25 sklápěcích konzolek instalovaných před betonáží do armatury předchozí sekce. Standardní betonážní sekce byly vysoké 3,2 m. Výztuž

the internal load-bearing bracing structures of the central nave of the station were carried out in parallel with the excavation. These activities and reaching of the required concrete strength of the concrete bracing structures was a necessary condition for the possible completion of the excavation for the invert in the transfer corridor section IV. In the third phase, after the dismantling of the colliding lining segments at the openings into the station, the supporting skeleton was installed in the transfer corridor. The transition corridor was divided into three expansion sections and the lift shaft Š2 into two sections. The reason was the necessity for inserting vibration isolation into the expansion joints.

6.1 Lift shaft Š2

The final lining of the elevator shaft is made of C30/37–XA1, XC2–CI 0.2–D_{max} 16mm concrete. The lining in the underground part consisted of ten blocks marked BS101–BS110 with a total length of 33.80m and, in the above-ground part from the basement up to the 1st floor, two blocks marked BS111–BS112 with a total length of 6.61m. The typical thickness of the structure was 450mm. In the part where the shaft changed the shape from an ellipse to a rectangle, the thickness reached up to 1320mm. The internal shape is rectangular with dimensions of 2.7 × 4.3m, with a vertical groove for wiring protecting troughs 0.1 × 0.6m on the vertical axis of the wall, on the side of the transfer corridor.

Sections BS101 and BS102 were terminated at the penetration into the transfer corridor by an expansion joint with 25mm thick SYLODYN NC 25 vibration isolation inserted into it. There was an expansion joint between the BS107 and BS108 blocks, in which the 25mm thick SYLODYN NE 25 acoustic vibration isolation was placed along the entire length. This isolation was installed in the course and vertical joints in the additionally concreted load-bearing structures at the contact between the basement and the 1st floor.

A temporary circular sump was set up at the bottom of the elevator shaft, to collect groundwater. After the installation of the waterproofing layers and installation of concrete reinforcement, concreting was carried out in a way preventing the filling of the sump with concrete. Its function had to be maintained until the completion of the final structures not only in the lift shaft, but also in the transfer corridor.

This was followed by a stream of activities in other sections. The formwork was carried out using TRIO system elements supplied by PERI a.s. To secure the working position, there was a working platform in the lower part of the concreting step, which was secured by means of 25 folding brackets installed before concreting, in the reinforcement of the previous section. The standard concrete casting sections were 3.2m high. The tie-up reinforcement (see Fig. 8), was supplemented in the transition part with welded mesh 6x6/100x100mm. The formwork, reinforcement and concrete were moved by means of an electric cable tackle with a maximum capacity of 5,000kg.

6.2 Transfer corridor

The final lining of the transfer corridor was divided lengthwise into 3 expansion units with a total number of 13 concrete casting blocks and 4 front walls. Furthermore, the execution of the lining was divided horizontally into two levels, i.e. the upper vault and the invert. A horseshoe shape was designed and carried out in 5 different cross-sections with two transition sections, one branch and one crossing. This unusual articulation placed great demands on the formwork and the logistics of the formwork parts supplied underground only through an elliptical hoisting shaft with limited spaces on the surface of the construction site utility. The transfer corridor descends at a



Obr. 8 Armatura sekce BS110

Fig. 8 Concrete reinforcement of block BS110

byla vázaná (obr. 8), v přechodové části doplněna o výztužné sítě 6x6/100x100 mm. Přesun bednění, armatury i betonu byl zajištěn pomocí elektrického lanového kladkostroje o maximální nosnosti 5 000 kg.

6.2 Přestupní chodba

Definitivní ostění přestupní chodby bylo rozděleno po délce na tři dilatační celky o celkovém počtu 13 sekcí a čtyř čelních stěn. Dále bylo ostění horizontálně rozděleno na dvě výškové úrovně provádění, tj. na horní klenbu a spodní klenbu. Podkovovitý tvar byl navržen a zrealizován v pěti různých příčných profilech s dvěma přechodovými úseky, jedním odbočením a jedním křížením. Tato neobvyklá členitost kladla velké nároky na bednicí formy a logistiku bednicích dílů do podzemí pouze přes eliptickou těžní šachtu s omezenými prostory na povrchu zařízení staveniště. Přestupní chodba klesá ve sklonu 0,3 % směrem od výtahové šachty Š2 ke stanici, kde posledních 10 m je provedeno bez spádu.

Definitivní ostění spodní klenby bylo prováděno od výtahové šachty Š2 směrem ke stanici (obr. 9). Maximální tloušťka ostění byla 880 až 930 mm s instalovanou armaturou při obou povrchích v podélném i příčném směru. V části tlakového uzávěru byla konstrukce spodní klenby kompletně vynechána, protože zhotovení stěny kolem tlakového uzávěru bylo nutné zrealizovat bez pracovní spáry, tedy po dokončení spodních klenob a klenob sousedních sekcí.

Do spodní úrovně bylo podélně umístěno potrubí pro výtlač D63–PE 100 SDR 11 s izolací tl. 10 mm a pro drenáž D200x11,9–PE 100 SDR 11 taktéž s izolací tl. 10 mm, ve sklonu 0,3 % směrem ke stanici. Obě potrubí prochází třemi šachtami. Do drenážního potrubí jsou svedeny na třech místech podélné postranní žlábkové zřízení pro zachycení případných průsaků.

Čelní stěny byly provedeny tloušťky 400 mm s volně loženou armaturou ve dvou vrstvách. Bednění bylo zhotoveno ze systémových prvků TRIO dodavatele PERI a.s. jako jednostranné bez horizontální pracovní spáry, což kladlo důraz na pevné zapření.

Po provedení betonáže čelních stěn byla zahájena montáž armatury a bednicí pojízdné formy ze systémových prvků PERI. Armatura byla převážně tvořena dvěma polohami sítě 8x8/150x150 mm, které byly instalovány na čtyřprutový příhradový rám a doplněny o smykovou výztuž a distance. Montáž probíhala z armovacího lešení systému PERI UP.

Hlavní nosná konstrukce bednicí formy byla tvořena z nosníků RCS, které byly ztuženy v příčném směru vřeteny SLS a v podélném směru závorami SRU. Na SLS vřeteny byly instalovány závory

gradient of 0.3% in the direction away from the lift shaft Š2 to the station, where the last 10m section is without a slope.

The final lining of the invert was carried out from the lift shaft Š2 towards the station (see Fig. 9). The maximum lining thickness ranged from 880 to 930mm. The reinforcing bars were installed at both surfaces in the longitudinal and transverse direction. In the part containing the pressure-resisting gate, the invert structure was completely omitted because the construction of the wall around the pressure-resisting gate had to be carried out without a construction joint, i.e. after the completion of the inverts and vaults of the adjacent sections.

A D63–PE 100 SDR 11 force main with 10mm thick insulation and a D200x11.9–PE 100 SDR 11 drainage pipeline, also with the insulation thickness of 10mm, sloping at 0.3% towards the station, were placed longitudinally in the lower level. Both pipelines pass through three shafts. Longitudinal side channels set up to catch any leaks are led into the drainage pipe in three places.

The front walls were 400mm thick, with the reinforcement installed freely in two layers. The TRIO system formwork elements were supplied by PERI a.s. as a one-sided system without a horizontal working joint. It emphasised firm bracing.

After completion of concreting the front walls, the assembly of the reinforcement and the traveller formwork consisting of PERI system elements started. The reinforcement consisted mainly of two layers of 8x8/150x150mm welded mesh, which were fixed to a four-bar lattice frame and were supplemented with shear reinforcement and spacers. The reinforcement was installed from PERI UP system scaffolding.

The main load-bearing structure of the formwork was formed by RCS beams, which were reinforced in the transverse direction by SLS spindles and, in the longitudinal direction, by SRU walers. GRV walers with GT 24 wooden trusses with two staggered layers of water-resistant plywood installed on them were installed on the spindles. To ensure the supply of concrete behind the formwork, 10 pieces of DN 125 filling gates were installed. The surface of the formwork was then coated with formwork oil and the resulting concrete lining was treated with MasterKure 220WB coating. Two pieces of concreting checkers (“spies”) were installed in the formwork. They were then used for injecting concrete to any unfilled space between the waterproofing and the concrete structure at the top.

After moving the formwork from shaft Š1 to shaft Š2, double-sided formwork was assembled, reinforcement was installed and the pressure-resistant wall was concreted. The bottom, side walls and vault concrete was cast as one composite pour. The reinforcement of the wall and bottom was connected with the adjacent concrete



Obr. 9 Betonáž spodní klenby přestupní chodby

Fig. 9 Concreting the invert of the transfer corridor

GRV s dřevěnými vazníky GT 24 s šachovnicově instalovanými dvěma vrstvami voděodolné překližky tl. 9 mm. K zajištění přesunu betonu do formy bylo instalováno 10 ks plnicích otvorů DN 125. Povrch formy byl následně natřen bednicím olejem a vzniklé betonové ostění bylo ošetřeno nátěrem MasterKure 220WB. Do formy byly instalovány dva kusy kontrolorů betonáže („špiony“), které následně sloužily k doinjektování případného nevyplněného prostoru mezi hydroizolací a betonovou konstrukcí.

Po přesunu bednicí formy od šachty Š1 k šachtě Š2 bylo provedeno oboustranné bednění, montáž armatury a betonáž tlakově odolné stěny. Betonáž byla provedena najednou, tzn. dno, boky i klenba. Výztuž dna stěny byla provázána se sousedními betonážními sekcemi BS201 a BS203 i s pomocí šroubových spojek. Do tlakové stěny byl umístěn ruční otočný tlakový uzávěr U8-3, jež musel být uložen do stěny již ve fázi montáže armatury.

Betonáže kleneb byly prováděny od stanice směrem k těžní šachtě Š1 (obr. 10). Jako poslední betonážní blok byl zrealizován BS3 průnikový se šachtou Š1. Po betonáži byla forma rozebrána na jednotlivé segmenty a díly. Ty byly přesunuty výtahovou šachtou Š2 na povrch ve velmi omezených prostorách pomocí minijerábu UNIC 095, jež je vyvinut na speciální práce v interiérech.

7. SOUHRN ZÍSKANÝCH ZKUŠENOSTÍ

Během výstavby bylo nutné se vypořádat s několika nepříznivými faktory, které byly spojené především s prováděním prací v obydlé části města v poměrně složitých geotechnických podmínkách. Vlastní činností nesmělo dojít k jakémukoliv ovlivnění provozované stanice metra Karlovo náměstí. Především z tohoto důvodu byla vybudována šachta Š1, přes kterou byl dopravován veškerý materiál, odtěžována rubanina, apod. Při ražbách nebylo téměř možné provádět trhací práce s výjimkou spodní části šachty Š2. Zároveň při ražbě přestupní chodby nebylo možné provádět práce v nepřetržitém režimu. Taktéž byly zastiženy oproti předpokladu velmi kompaktní zdravé polohy dobrotivských břidlic, které byly strojně velmi těžce rozpojitelné. Přes veškeré komplikace však byla stavba řádně dokončena a nyní již zdárně slouží veřejnosti.

*Ing. PETR LUKA, petr.luka@hochtief.cz,
Ing. MARTIN ŠPETA, martin.speta@hochtief.cz,
Ing. RADEK KOZUBÍK, radek.kozubik@hochtief.cz,
HOCHTIEF CZ a. s.*

Recenzoval Reviewed: Ing. Jan Korejčík



*Obr. 10 Betonáž horní klenby přestupní chodby
Fig. 10 Concreting the upper vault of the transfer corridor*

casting sections BS201 and BS203 also using conically threaded coupling sleeves. A manual rotary pressure valve U8-3 was placed in the pressure-resistant wall; it had to be placed in the wall already in the reinforcement assembly phase.

Concreting of the vaults proceeded from the station towards the hoisting shaft Š1 (see Fig. 10). The BS3 concrete casting block penetrating to the shaft Š1 was carried out as the last one. After concreting, the formwork was disassembled into individual segments and parts. These were moved to the surface through the lift shaft Š2 in very confined spaces using a mini-crane UNIC 095, which has been developed for special work in interiors.

7. SUMMARY OF GATHERED EXPERIENCE

During the construction it was necessary to deal with several unfavourable factors, which were mainly associated with the work in a populated part of the city in relatively complicated geotechnical conditions. The actual activities were not allowed to affect the operation of the Karlovo Náměstí metro station. Mainly for this reason, the shaft Š1, through which all materials were transported, muck was removed, etc., was built. During excavation, it was almost impossible to use blasting, with the exception of the lower part of shaft Š2. At the same time, it was not possible to work 24h/day during the excavation of the transfer corridor. Very compact, fresh layers of Dobrotiv formation shale, which was very difficult to break mechanically, were also found contrary to the assumption. Despite all the complications, the construction was properly completed and is now successfully serving the public.

*Ing. PETR LUKA, petr.luka@hochtief.cz,
Ing. MARTIN ŠPETA, martin.speta@hochtief.cz,
Ing. RADEK KOZUBÍK, radek.kozubik@hochtief.cz,
HOCHTIEF CZ a. s.*

LITERATURA / REFERENCES

Projektová dokumentace

- [1] *Projekt: Bezbariérové zpřístupnění stanice metra Karlovo náměstí*. Realizační dokumentace stavby. METROPROJEKT Praha a. s., 2019/2020
- [2] CHMELAŘ, R., TŮMA, P., MIKOLÁŠEK, T., GUBANIOVÁ, N. Geotechnický monitoring na stavbě bezbariérového zpřístupnění stanice metra Karlovo náměstí. *Tunel*, 2020, roč. 29, č. 1, s. 17–27
- [3] KOREJČÍK, J., URBÁNKOVÁ, M., KOLEVSKI, M. Projekt bezbariérového zpřístupnění stanice metra Karlovo náměstí. *Tunel*, 2021, roč. 30, č. 1, s. 28–38

METRO „CITYRING“ V KODANI – ÚSEK „BRANCH OFF TO SYDHAVN“

COPENHAGEN METRO CITYRING – BRANCH OFF TO SYDHAVN

BARBORA PÍŠOVÁ

ABSTRAKT

V současnosti je ve výstavbě nový úsek linky metra M4 v městské části Sydhavn v hlavním městě Dánska, Kodani. Tento úsek metra je 4,4 km dlouhý a představuje prodloužení stávající linky M4. Předpokládané datum dokončení je v roce 2024 s cílem uspokojit rostoucí dopravní potřeby města v závislosti na rostoucím počtu obyvatel. Předpokládá se, že nová linka přepraví přibližně 43 000 cestujících denně, přičemž roční počet cestujících je odhadován na 15,5 milionu. Nový úsek linky metra bude mít pět nových stanic a propojí okolí jižního přístavu Sydhavn s existující linkou M3 Cityring a severní částí linky M4 směřující do přístavu Nordhavn.

ABSTRACT

A new section of the M4 metro line is currently under construction in the Sydhavn district of Copenhagen, the capital of Denmark. This section of the metro is 4.4km long and represents an extension of the existing M4 line. The expected completion date is 2024 in order to meet the growing transport needs of the city depending on the growing population. The new route is expected to carry approximately 43,000 passengers per day, with an annual passenger number estimated at 15.5 million. The new section of the metro line will have five new stations and will connect the area around the southern port of Sydhavn with the existing M3 Cityring line and the northern part of the M4 line to the port of Nordhavn.

1. PROJEKT

1.1 Úvod

Linka metra M4 je rozdělena na dvě části. První úsek spojuje Nordhavn – nově vybudovanou městskou část Kodaně – s centrem města; druhý úsek, „Branch off to Sydhavn“ je pokračováním linky M4 směrem k jižnímu přístavu (obr. 1). Společnost HOCHTIEF Infrastructure GmbH se podílela na projektování a výstavbě obou úseků, kde „Branch off to Nordhavn“ byl úspěšně dokončen a otevřen pro veřejnost v lednu 2020 a „Branch off to Sydhavn“ je v současné době ve výstavbě.

1.2 „Branch off to Sydhavn“

V únoru 2018 získala společnost TUNN3L JV (T3L JV), sdružení tvořené společnostmi HOCHTIEF Infrastructure GmbH a Vinci Grand Projets, od dánského provozovatele metra Metroselskabet (MS) zakázku na projektování a výstavbu úseku „Branch off to Sydhavn“. Výstavba byla zahájena již v roce 2018 a očekává se, že nový systém metra bude plně funkční v roce 2024. Sdružení T3L, v němž mají obě společnosti 50% podíl, vede společnost HOCHTIEF Infrastructure GmbH. Celková hodnota zakázky je 470 milionů eur.

Rozsah projektu lze shrnout následovně:

- 5 hloubených stanic;
- dva traťové tunely ražené dvěma zeminovými štíty;
- dva tunelové rozplety;
- konvenčně ražená propojka mezi traťovými tunely, včetně čerpací jímky;
- mechanické a elektrické instalace v tunelech a stanicích;
- architektonické práce ve stanicích.



zdroj MS source MS

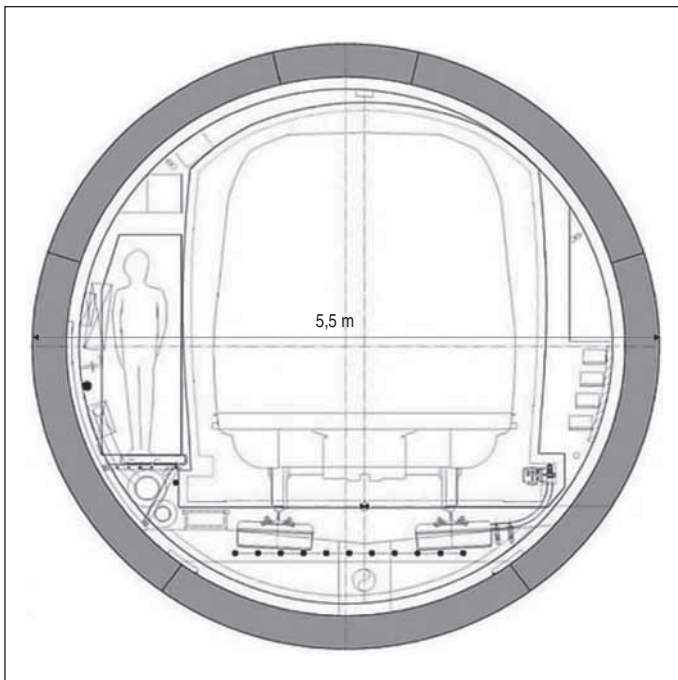
Obr. 1 Přehledná situace linky metra M4 v Kodani

Fig. 1 Overview of the M4 metro line in Copenhagen

1. PROJECT

1.1 Introduction

The M4 metro line is divided into two parts. The first section connects Nordhavn – the newly built part of Copenhagen – and the city center; the second section, “Branch off to Sydhavn”, is a continuation of the M4 line towards the southern port (Fig. 1). HOCHTIEF Infrastructure GmbH was involved in the design and construction of both sections, where the “Branch off to Nordhavn” was successfully completed and opened to the public in January 2020 and the “Branch off to Sydhavn” is currently under construction.



zdroj projektová dokumentace source project documentation

Obr. 2 Typický průřez traťového tunelu

Fig. 2 Typical running tunnel cross-section

1.3 Stanice a traťové tunely

Typický průřez traťových tunelů je znázorněn na obr. 2. Vnitřní průměr tunelu je 4,9 m, vnější průměr 5,5 m a délka každého z nich 4,4 km. Tunely byly raženy dvěma zeminovými štíty a jsou vyztuženy segmentovým ostěním tloušťky 30 cm z drátkobetonu; pouze některé segmenty (např. okolo napojení propojky na traťové tunely) jsou ze železobetonu.

Typické půdorysné rozměry stanic jsou 62×18 m (délka × šířka), tři stanice z celkových pěti jsou 24 m hluboké, zbývající dvě jsou hluboké 17 m. Stanice jsou vybudovány v otevřené stavební jámě, uvnitř jejich opěrných konstrukcí, které měly během výstavby funkci zajištění stavební jámy proti zemnímu tlaku a tlaku podzemní vody a byly rovněž navrženy tak, aby odolaly přetížení povrchu okolní zástavbou, včetně zatížení od jeřábů při vyzdvihování zeminových štítů ze dna šachty (obr. 3).

Směr výstavby traťových tunelů, resp. směr ražeb pomocí zeminových štítů, je zobrazen na obr. 4. Stanice byly vyhloubeny v předstihu před jejich průjezdem zeminovými štíty. Ražba probíhala nejprve od šachty Enghave Brygge směrem na jih. Jakmile zeminové štíty dorazily do cílové šachty v Ny Ellebjerg, byl odpojen komplet návěsů, štíty byly demontovány, vyzdviženy ze dna šachty a převezeny zpět do startovní šachty v Enghave Brygge/Orstedsværket. Zde byly štíty znovu spuštěny do šachty a smontovány a pokračovaly v ražbě opačným směrem ke koncové šachtě v Havneholmen.

Prorážka do cílové šachty v Havneholmen byla unikátní tím, že zeminové štíty postupovaly v ražbě v patrech vertikálně nad sebou (obr. 5).



zdroj autor source author

Obr. 3 Zvedání řezné hlavy štítu ze dna šachty

Fig. 3 Lifting the shield cutting head from the bottom of the shaft

1.2 Branch off to Sydhavn

In February 2018, TUNN3L JV (T3L JV), a joint venture of HOCHTIEF Infrastructure GmbH and Vinci Grand Projets, won a contract from the Danish metro operator Metroselskabet (MS) to design and build the “Branch off to Sydhavn” section. Construction began in 2018 and the new metro system is expected to be fully operational in 2024. T3L, in which both companies have a 50% stake, is led by HOCHTIEF Infrastructure GmbH. The total value of the contract is 470 million euros.

The scope of the project can be summarized as follows:

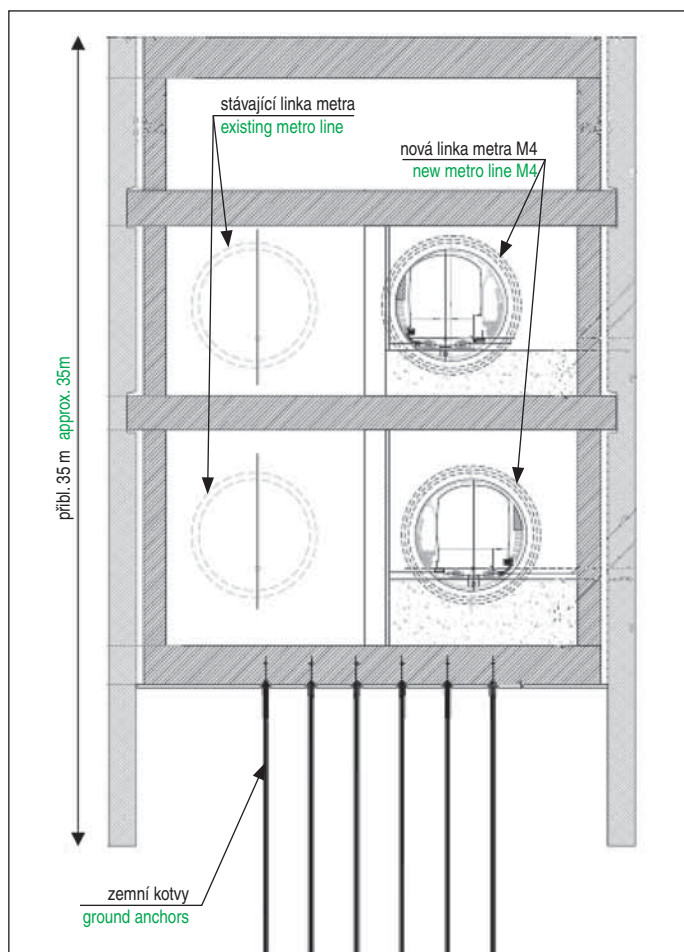
- 5 cut and cover stations;
- two running tunnels dug by two earth pressure balance shields;
- two tunnel branchings;



zdroj [3] source [3]

Obr. 4 Směr výstavby traťových tunelů

Fig. 4 Running tunnels construction direction



zdroj projektová dokumentace source project documentation

Obr. 5 Prorážka do cílové šachty

Fig. 5 Breakthrough into the target shaft

1.4 Geologické a hydrogeologické poměry

Tunely se nacházejí převážně ve svrchním kodaňském vápenci (UCL), středním kodaňském vápenci (MCL) a bryozoickém vápenci (BZ). Pouze v okolí šachty Havneholmen, kde je trasa tunelu výše položená, zasahuje profil tunelu částečně do pokryvných čtvrtohorních sedimentů (obr. 6).

Návrhové geotechnické parametry byly interpretovány na základě výsledků inženýrskogeologického průzkumu podél trasy tunelu. Pevnost kodaňských vápenců se zpravidla s rostoucí hloubkou zvyšuje a zároveň se snižuje jejich propustnost. Základní geotechnické parametry jsou shrnuty v následující tab. 1.

Tab. 1 Geotechnické parametry [1]

Typ vápence	Objemová tíha γ [kN/m ³]	Efektivní smyková pevnost	
		soudržnost c' [kPa]	úhel vnitřního tření φ' [°]
UCL	18,0–25,5	70–190	45–53
MCL	18,0–25,5	70–190	45–53
BZ	18,0–25,5	70–150	45–51

Kodaňský vápenc s vysokým obsahem pazourků. Obsah pazourků byl nejvyšší v takzvané „Carlsberg fault“, poruchové zóně nacházející se na rozhraní mezi kodaňským (UCL, MCL) a bryozoickým vápencem (BZ). Pazourky jsou zpravidla abrazivnější než vápenc a při ražbě zeminovými štíty mají za následek vyšší opotřebení rezných nástrojů. Postup zeminových štítů poruchovou zónou byl ovlivněn měnícími se geotechnickými a hydrogeologickými podmínkami a vyžadoval spolehlivé zapažení čelby. Kvůli vysokému obsahu

- conventionally excavated crosspassage between running tunnels, including a sump;
- mechanical and electrical installations in tunnels and stations;
- architectural works in stations.

1.3 Stations and running tunnels

A typical cross-section of the running tunnels is shown in Fig. 2. The inner diameter of the tunnel is 4.9m, the outer diameter is 5.5m and the length of each is 4.4km. The tunnels have been excavated with two earth pressure balance shields and are reinforced with a 30cm thick segmental lining of fiber reinforced concrete; only some segments (eg around the connection of the crosspassage to the running tunnels) are made of rebar reinforced concrete.

Typical floor plan dimensions of the stations are 62×18m (length × width), three stations out of a total of five are 24m deep, the remaining two are 17m deep.

The stations are built in an open pit, inside their supporting structures, which during construction had the function of securing the pit against ground pressure and groundwater pressure and were also designed to withstand the surcharge load of the area with the surrounding buildings, including crane loads when lifting earth pressure balance shields from bottom of the shaft (Fig. 3).

Direction of construction of running tunnels, resp. the direction of excavations using earth pressure balance shields is shown in Fig. 4. The stations were excavated in advance before the passage of the earth pressure balance shields. The excavation took place first from the Enghave Brygge shaft to the south. As soon as the earth pressure balance shields reached the destination shaft at Ny Ellebjerg, the gantries-trailer was disconnected, the shields were dismantled, lifted from the bottom of the shaft and transported back to the starting shaft at Enghave Brygge/Orstedsvaerket. Here the shields were reassembled and lowered into the shaft, from where they continued to excavate in the opposite direction to the end shaft in Havneholmen.

The penetration into the target shaft in Havneholmen was unique in that the earth pressure balance shields proceeded in the excavation vertically above each other (Fig. 5).

1.4 Geological and hydrogeological conditions

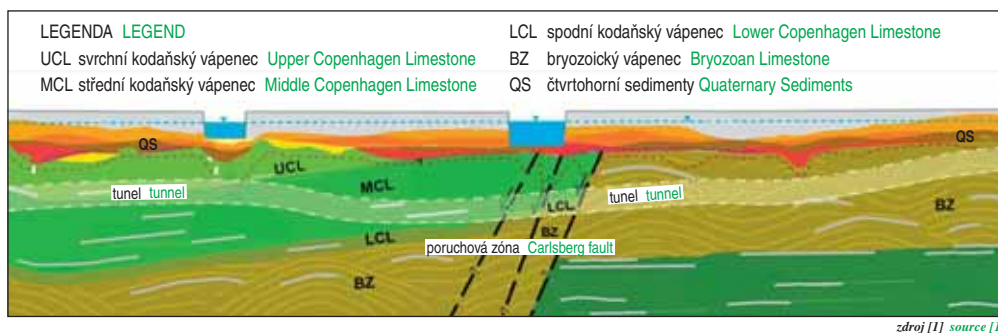
The tunnels are located mainly in Upper Copenhagen Limestone (UCL), Middle Copenhagen Limestone (MCL) and Bryozoic Limestone (BZ). Only in the vicinity of the Havneholmen shaft, where the tunnel route is elevated, the tunnel profile partially penetrated the covering Quaternary sediments (Fig. 6).

The design geotechnical parameters were interpreted on the basis of the results of engineering geological survey along the tunnel route. The strength of Copenhagen limestones usually increases with increasing depth and at the same time their permeability decreases. The basic geotechnical parameters are summarized in the following table. 1.

Tab. 1 Geotechnical parameters [1]

Limestone type	Bulk density γ [kN/m ³]	Effective shear strength	
		cohesion c' [kPa]	internal friction angle φ' [°]
UCL	18,0–25,5	70–190	45–53
MCL	18,0–25,5	70–190	45–53
BZ	18,0–25,5	70–150	45–51

Copenhagen limestone can be described as an silty to sandy, light gray limestone with a high flint content. Flint content was highest in the so-called “Carlsberg fault”, a fault zone located at the boundary between Copenhagen (UCL, MCL) and Bryozoic limestone (BZ). Flint is generally more abrasive than limestone and results in higher wear on cutting tools when excavated with earth pressure balance shields. The progress of the earth pressure balance shields through the



Obr. 6 Konceptuální geologický model

Fig. 6 Conceptual geological model

pažourků v poruchové zóně byla nutná kontrola a výměna řezných nástrojů v hyperbarických podmínkách [1].

2. SOUBĚH PROJEKTU A VÝSTAVBY

HOCHTIEF využil svých zkušeností z předcházejícího projektu „Branch off to Nordhavn“ a rozhodl se rozdělit odpovědnost za projekt jednotlivým projektantům a koordinovat projektovou přípravu mezi projektanty prostřednictvím sdružení (T3L). Hlavní části projektu byly:

- konstrukční návrh;
- vybavení a elektroinstalace (M&E);
- architektonická část.

Koordináční tým sdružení byl kapacitně navržen tak, aby dostatečně pokryl objem projekčních prací. Naproti tomu počet subjektů projektujících stanice byl minimalizován tak, aby byl co možná nejvíce snížen počet rozhraní mezi různými subjekty. Již zadávací podmínky počítaly se systematickým vývojem projektové dokumentace a všeobecně vycházely ze zkušeností zadavatele s projekty „Design&Build“. Tyto zkušenosti ukazují, že včasná koordinace všech účastníků projektu je nezbytná a je tak i smluvně zakotvená v příslušných milnících harmonogramu projekčních prací a výstavby. Zadávací podmínky navíc poskytly i určitou strukturu pro přípravu projektové dokumentace. V první řadě se jednalo o projektový podklad, který byl základem pro vypracování „Preliminary design“ (podklad pro vydání stavebního povolení) a následně „Detailed design“ (dokumentace pro provedení stavby) platný a závazný pro všechny zúčastněné projektanty.

Pro koordinaci projektantů se konaly pravidelné koordináční schůzky, porovnávaly se různé názory a zkušenosti a optimalizoval se návrh konstrukcí. Byly zohledněny zpětné vazby z probíhající výstavby i navazujících projekčních oborů M&E a architektury.

Koordinace pěti projektantů ze tří různých oborů byla sama o sobě náročným úkolem, který vyžadoval velké úsilí a také dostatečnou ochotu ke spolupráci ze strany všech zúčastněných. Komunikace a spolupráce s vlastními projektanty se ukázala být mnohdy časově efektivnější než s externími konzultanty, ačkoli přítomnost zástupců jednotlivých externích projektantů přímo na stavbě může být velmi přínosná a usnadnit tok informací [2].

3. SOUBĚH VÝSTAVBY RŮZNÝCH STAVEBNÍCH ČÁSTÍ

Vzhledem k celkově náročnému harmonogramu, četným rozhraním se subdodavateli a milníkům pro schválení projektové dokumentace, se již ve fázi zpracování nabídky intenzivně diskutovalo se zadavatelem o tom, jak zajistit včasné dokončení díla kvůli činností vykonávaným paralelně, jak při návrhu projektu, tak během výstavby. Již při plánování zařízení staveniště (plochy na uskladnění segmentů, umístění rubaniny nebo umístění jeřábů) byla věnována zvláštní pozornost rozmístění a oddělení jednotlivých pracovišť pro výstavbu stanic a ražeb tunelů. Rovněž vedení instalací, únikových schodišť a výtahů bylo uspořádáno tak, aby se pokud možno co nejvíce zabránilo vícenásobným přeložkám.

fault zone was influenced by changing geotechnical and hydrogeological conditions and required a reliable face support. Due to the high content of flint in the fault zone, it was necessary to check and replace cutting tools in hyperbaric conditions [1].

2. CONCURRENCE OF THE DESIGN AND CONSTRUCTION

HOCHTIEF used its experience from the previous project “Branch off to Nordhavn” and decided to divide the responsibility for the project to the individual designers and to coordinate the project preparation among the designers through the joint venture (T3L). The main parts of the project were:

- structural design;
- mechanical and electrical systems (M&E);
- architecture.

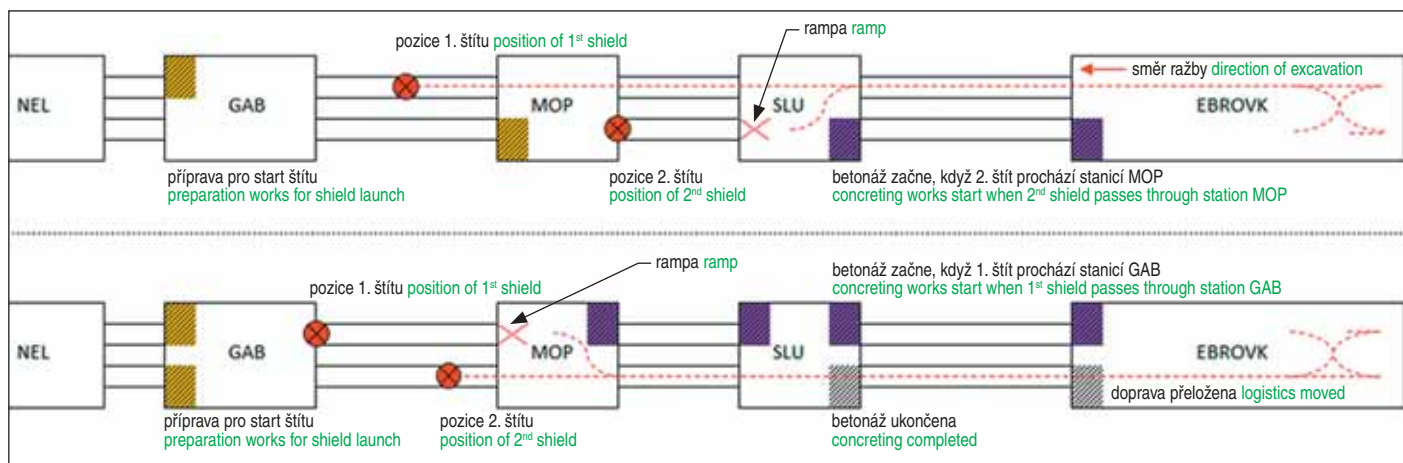
The coordination team of the joint venture was designed in such a way as to sufficiently cover the volume of design work. In contrast, the number of subjects designing stations has been minimized so as to reduce the number of interfaces between different subjects as much as possible. The tender conditions already provided for the systematic development of project documentation and were generally based on the client’s experience with “Design & Build” projects. This experience shows that timely coordination of all project participants is essential and is thus contractually anchored in the relevant milestones of the design and construction schedule. In addition, the tender conditions provided a certain structure for the preparation of project documentation. First of all, it was a project basis, which was the basis for the elaboration of “Preliminary design” (basis for issuing a building permit) and then “Detailed design” (documentation for construction) valid and binding for all participating designers.

Regular coordination meetings were held to coordinate the designers, different opinions and experiences were compared and the design of the structures was optimized. Feedback from ongoing construction as well as related M&E and architecture design fields was taken into account.

Coordinating five designers from three different disciplines was a challenging task that required a great deal of effort as well as a sufficient willingness on the part of all involved. Communication and cooperation with own designers has often proved to be more time-efficient than with external consultants, although the presence of representatives of individual external designers on site can be very beneficial and facilitate the flow of information [2].

3. CONCURRENCE OF CONSTRUCTIONS OF DIFFERENT OBJECTS

Due to the overall demanding schedule, numerous interfaces with subcontractors and milestones for the approval of project documentation, there was intensive discussions with the contracting authority already in the tender preparation phase on how to ensure timely completion of work due to parallel activities, both during project design and construction. Already during the planning of the construction site (areas for storing segments, placement of muck or placement of cranes) special attention was paid to the location and separation of individual workplaces for the construction of stations and tunnels. The placement of installations, escape stairs and lifts has also been arranged in such a way as to avoid multiple relocations as much as possible.



zdroj [3] source [3]

Obr. 7 Koordinace výstavby stanic a ražby tunelů
Fig. 7 Coordination of station construction and tunneling

Pro horizontální logistiku a zásobování zeminových štítů byla zvolena víceúčelová vozidla (MSV). Díky bezkolejnému provozu umožnila MSV flexibilní změnu logistických tras, a to jak v rámci stanice, kde se mohly vyhnout „dočasným překážkám“, tak i v rámci změny provozu skrz tunelové trouby tak, aby bylo možné vybudovat napojení mezi stěnami stanic a posledním prstencem segmentového ostění (obr. 7). Nicméně nelze pominout, že i v případě použití MSV je nutné zřídit alternativní trasy a odstaviště, výškově upravit přechody mezi tunely a stanicemi a v případě potřeby regulovat dopravu prostřednictvím rádiového/světelného systému a řídicího centra. V rámci celkového postupu prací měla ražba tunelů vždy přednost, ale vhodným rozdělením úseků betonáže stěn a desek v rámci stanic se dosáhlo požadovaného postupu výstavby i těchto konstrukčních prvků podle plánu. Pro úspěšnou koordinaci paralelně prováděných prací bylo nutné velmi podrobné plánování všech jednotlivých kroků a technologických návazností, úzká spolupráce a koordinace mezi týmem tunelářů a týmem výstavby stanic, s důrazem na logistiku a rozhraní mezi tunely a stanicemi [3].

4. ZÁVĚR

Společnost HOCHTIEF úspěšně dokončila a předala zadavateli projekt „Branch off to Nordhavn“ a je na nejlepší cestě také k úspěšnému dokončení projektu „Branch off to Sydhavn“. Navzdory pandemii covid-19 a k výzvám, s nimiž se během ní firma potýkala, byly ražby traťových tunelů dokončeny včas, což významně přispělo k úspěšné koordinaci celého projektu. Práce nyní pokračují na vnitřních konstrukcích a stanicích a společnost HOCHTIEF se těší na další úspěšné dokončení a otevření nové linky podle plánu na začátku roku 2024.

Ing. BARBORA PÍŠOVÁ, Ph.D., barbora.pisova@hochtief.de,
HOCHTIEF Infrastructure GmbH

Recenzoval Reviewed:
prof. Ing. Matouš Hilar, MSc., Ph.D., CEng., MICE

Multi-service vehicles (MSVs) were chosen for logistics and supply of earth pressure balance shields. Thanks to the rubber wheels, MSV enabled a flexible change of logistics routes, both within the station, where they could avoid “temporary obstacles”, and within the tunnel adapting to the change of operation so that it was possible to build a connection between station walls and the last ring of segmental lining (Fig. 7). However, it should not be overlooked that even when using MSV, it is necessary to set up alternative routes and layby areas, to adjust the elevations of the transitions between tunnels and stations and, if necessary, to regulate traffic through the radio / signal system and control center. As part of the overall progress of the works, the excavation of tunnels was always a priority, but the appropriate division of the concreting of the walls and slabs within the stations the required construction progress of these structural elements was also achieved according to the plan. The successful coordination of parallel works required very detailed planning of all individual steps and technological connections and in close cooperation and coordination between the tunnelers’ team and the station construction team, with an emphasis on logistics and the interface between the tunnels and stations [3].

4. CONCLUSION

HOCHTIEF Company has successfully completed and handed over the “Branch off to Nordhavn” project to the contracting authority and is also well on its way to successfully completing the “Branch off to Sydhavn” project. Despite the covid-19 pandemic and the challenges the company faced, the excavation of the running tunnels was completed on time, which significantly contributed to the successful coordination of the entire project. Work is now continuing on the internal structures and stations, and HOCHTIEF Company looks forward to further successful completion and opening of the new line as planned in early 2024.

Ing. BARBORA PÍŠOVÁ, Ph.D., barbora.pisova@hochtief.de,
HOCHTIEF Infrastructure GmbH

LITERATURA / REFERENCES

- [1] ERD, S. A. *Bachelor Thesis Mechanized tunneling techniques and comparative observation of two EPB Tunnel Boring Machines (TBM)*. FH Aachen University of Applied Sciences Faculty for Civil Engineering, November 2020
- [2] ABEL, F. *Metro Sydhavnen Kopenhagen – Teil 2 Harmonisierung des Designs bei Auswahl parallel arbeitender Ing.-büros*. HOCHTIEF Civil Colloquium, Oktober 2019
- [3] KOSTELIDIS, S. *Metro Sydhavnen Kopenhagen – Teil 1 Realisierung des zeitgleichen Baus von Tunnel und 5 Stationen*. HOCHTIEF Civil Colloquium, Oktober 2019

STANICE NOVÉ DVORY NA NOVÉ Lince I.D PRAŽSKÉHO METRA

NOVÉ DVORY STATION ON THE NEW LINE I.D OF THE PRAGUE METRO

PETR MAKÁSEK, ALEŠ VEVERKA, MICHAL HNILIČKA

ABSTRAKT

Článek popisuje technické řešení projektové dokumentace pro provádění stavby (PDPS) jednolodní stanice Nové Dvory, která je součástí připravované nové linky pražského metra I.D. Kvůli podmínkám zadání vyžaduje tato ražená stanice použití jedinečných konstrukcí a řešení, jako je např. společný profil jednolodní stanice s eskalátorovým tunelem, velmi blízká ražba tunelů větvení trasy I.D a odstavného tunelu a v neposlední řadě návrh příčné kaverny „dómu“, pro potřebu rozrážky stanice z přístupového tunelu. Projekt byl proto zpracován pomocí 3D objektového modelování včetně 3D modelu geologického prostředí a 3D výpočtových modelů.

ABSTRACT

The article describes the technical solution of the project implementation documentation (PDPS) of the single-aisle station Nové Dvory, which is part of the new line of the Prague metro I.D. Due to the conditions of the assignment, this excavated station requires the use of unique structures and solutions, such as a combined profile of a single-aisle station with an escalator tunnel, very close excavation of I.D turnout tunnels and parking track tunnel and last but not least design of transverse cavern (dome) for the excavation start of the station from the access tunnel. The project was therefore developed using 3D object modeling, including a 3D geological model and 3D calculation analyses models.

ÚVOD

Přípravné práce na projektu nové linky D pražského metra byly zahájeny v červnu 2019 realizací inženýrskogeologického průzkumu pro první úsek I.D1a Pankrác – Olbrachtova. V červnu roku 2021 byla podepsána smlouva s vítězem veřejné zakázky na realizaci stavby tohoto úseku a v době psaní tohoto článku se čeká na pravomocné stavební povolení. Do provozu ale musí být uveden celý úsek I.D1 najednou včetně části I.D1b, tedy od stanice Pankrác až do stanice Nové Dvory.

ZÁKLADNÍ POPIS STANICE NOVÉ DVORY

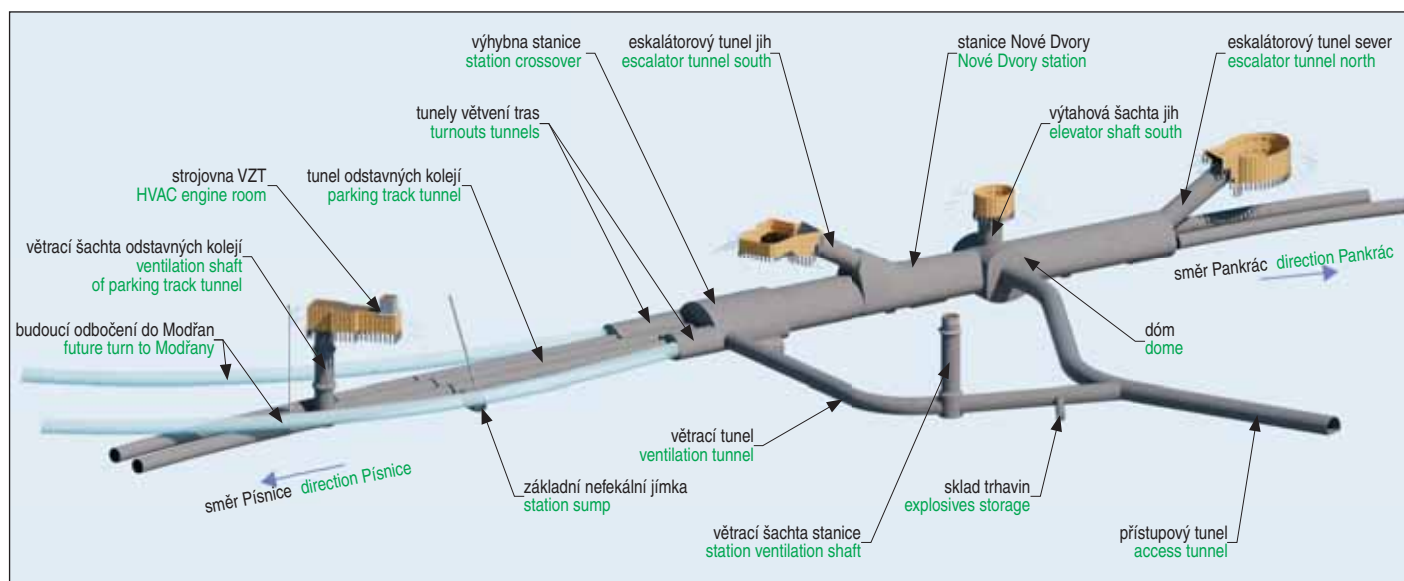
Jedná se o jednolodní stanici raženou Novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM), která bude až do doby zprovoznění úseku I.D2 Nové Dvory (mimo) – Depo Písnice stanicí konečnou. Součástí stanice je proto také tunel odstavných kolejí a výhybna.

INTRODUCTION

Enabling works of the new Prague metro line D project began in June 2019 with the engineering geological survey for the first section I.D1a Pankrác – Olbrachtova. In June 2021, a construction contract was signed with the winner of the public tender for the construction of this section, and at the time of writing, a valid building permit is pending. However, the entire section of I.D1 metro line must be put into operation at once, including part of I.D1b, i.e., from the Pankrác station to the Nové Dvory station.

BASIC DESCRIPTION OF NOVÉ DVORY STATION

It is a mined single-aisle station excavated by the New Austrian Tunneling Method (NATM), which will serve as the terminal station until the section I.D2 Nové Dvory (except) – Depot Písnice



Obr. 1 Model stanice Nové Dvory
Fig. 1 Nove Dvory Station model

Stanice má dva eskalátorové tunely sever a jih, které spojují nástupiště s vestibuly. Stanice je navržena jako bezbariérová díky výtahové šachtě umístěné uprostřed nástupiště. Celková výška nadloží nad klenou stanice je 20–24 m. Pro výstavbu stanice je navržen přístupový a větrací tunel, který bude, mimo část sloužící k ventilaci, po dokončení výstavby stanice zpřístupněn. Součástí stanice je dále větrací šachta na větracím tunelu, větrací šachta odstavných kolejí a základní nefekální jámka. Výhledově se za stanicí počítá s větvením linky I.D směrem do Modřan, proto jsou za výhybnou stanice navrženy tunely větvení tras, umožňující napojení budoucích traťových tunelů tímto směrem (obr. 1).

GEOLOGICKÉ PODMÍNKY A JEJICH 3D INTERPRETACE

Předkvartérní podklad je v oblasti stanice Nové Dvory tvořen horninami paleozoika (ordoviku). Ražbou budou zastížena souvrství dobrotivské a libeňské. Obě souvrství se dále dělí na vrstvy (facie) tvořené prachovitými až jílovitoprachovitými, silně slídnatými stejnorodými břidlicemi (dobrotivské a libeňské) a vrstvy tvořené křemitými pískovci či křemenci s vložkami prachovců flyšového charakteru (skalecké a řevnické křemence). Povrch hornin předkvartérního podkladu je jen mírně zvlhčený a generálně kopíruje povrch terénu. Zastíženy budou horniny od zcela zvětralých až po zdravé a zároveň byly průzkumnými pracemi popsány zóny s větším či menším vlivem tektonických procesů tvořící horniny podrcené až prohnětené. Míra zvětrání a vliv tektoniky se tak promítly do dalšího dělení jednotlivých stratigrafických souvrství v geotechnickém modelu.

Kvartérní pokryv zahrnuje směr jak jemných, tak hrubších kvartérních uloženin. Celková ověřená mocnost pokryvu je převážně mezi 1 až 2 m, ojediněle až 3,7 m. Vzhledem k hloubce nivelety stanice Nové Dvory pod terénem (32–36 m) nebude mít velký význam a uplatní se pouze v omezené míře při hloubení stavebních jam, vstupních prostor a při hloubení šachet.

Souvislá hladina podzemní vody se vyskytuje v hloubce cca 2,5–6,5 m pod terénem. Podzemní voda je vázána na přípovrchovou zónu rozvolněných hornin a na tektonicky porušená pásma nebo linie průběžných zvodněných diskontinuit.

Geotechnický model byl zpracován pomocí programu Leapfrog Works verze 2.3 (od firmy Sequent Ltd.), s využitím databáze účelově sestavené z dostupných inženýrskogeologických podkladů. Konstrukční prvky modelu předmětných částí stanice byly do modelu importovány z 3D modelu stanice z programu Revit (od firmy Autodesk Inc.). Inženýrskogeologické informace použité v rámci modelovacího procesu byly poskytnuty objednatelem, další informace byly získány z databáze České geologické služby (Geofond), pražského Institutu plánování a rozvoje (IPR) a z vlastních archivů. Jako nosný zdroj informací pro sestavení stratigrafie modelu sloužily závěrečné zprávy z jednotlivých etap inženýrskogeologického průzkumu, které byly pro objednatele zpracovány společností GeoTec-GS, a.s.

Na základě rešerše podkladů s promítnutím navržených podzemních i povrchových konstrukcí stanice byl sestaven geotechnický 3D model, který zjednodušujícím způsobem vystihuje prostorové souvislosti poznaného geologického vývoje a jeho vliv na mechanické vlastnosti dotčených zemin a hornin. Geotechnický model reprezentovaný ucelenými bloky (geotypy), odlišujícími se na základě specifických inženýrskogeologických vlastností, tak slouží jako hlavní a zejména pro celý projekt stanice jednotný podklad pro potřeby návrhu ražeb a zpracování výpočtových modelů. Během koordinace projektu je nezanedbatelným přínosem modelu možnost generování dvojrozměrných profilů v kterémkoli místě zájmové oblasti.

Nicméně, stejně jako jakékoli jiné geologické podklady, je i 3D model pouze interpretací z diskretně rozmístěných bodových informací a je třeba nepodlehnout pocitu, že se přesně ví, v jakých geologických a geotechnických podmínkách se bude ražít (obr. 2).

is put into operation. Therefore, the station also includes a parking track tunnel and a crossover.

The station has two escalator tunnels north and south, which connect the platform with the vestibules. The station is designed as a barrier-free thanks to accessible via an elevator shaft located in the middle of the platform. The height of the overburden above the tunnel station arch is 20–24m. An access tunnel and a ventilation tunnel are designed to accommodate station's construction. These tunnels will be made inaccessible except the part used for ventilation, after the construction of the station will be completed. The station also includes a ventilation shaft for the ventilation tunnel, a ventilation shaft for parking track tunnel and a non-faecal sump. Prospectively, the bifurcation of the I.D line towards Modřany is planned behind the station, therefore the turnout tunnels are designed behind the station crossover, enabling the connection of future running tunnels in this direction (Fig. 1).

GEOLOGICAL CONDITIONS AND THEIR 3D INTERPRETATION

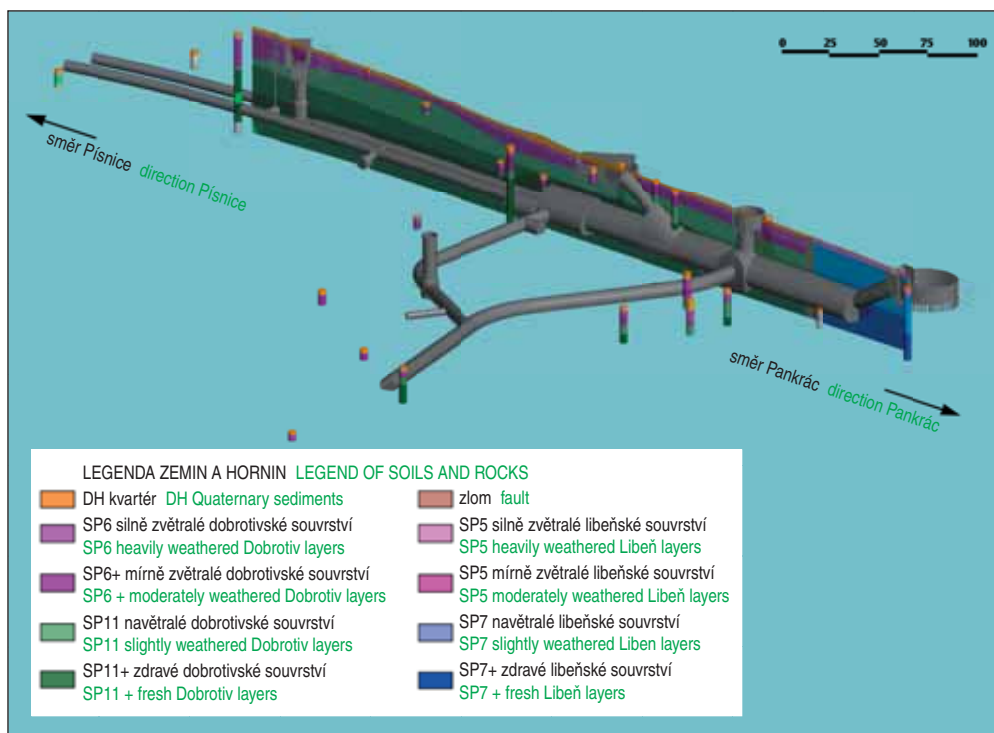
The pre-Quaternary base in the Nové Dvory station area is formed by Paleozoic (Ordovician) rocks. Tunnel excavation will be executed in the "Dobrotivské" and "Libeňské" formations. Both formations are sub-divided into the layers (facies) formed by silty to clayey silty, strongly micaceous homogeneous shales (Dobrotivské and Libeňské) and layers formed by siliceous sandstones or quartzites with siltstone inserts of flysch character (Skalec a Řevnice quartzite). The surface of the pre-Quaternary rock base is only slightly rough and generally copies the surface of the terrain. There are expected layers of completely weathered rock to fresh rock. In addition, zones influenced by tectonic processes forming crushed to remolded rocks were described by the investigation works. The degree of weathering and the influence of tectonics were thus reflected in the further distribution of individual stratigraphic formations in the geotechnical model.

The Quaternary cover includes a mixture of both fine and coarse Quaternary deposits. The total verified thickness of the cover is mostly between 1 and 2m, occasionally up to 3.7m. This layer had not great importance to Nové Dvory station design, because of station's overall depth below the terrain (32–36m). It will affect the design only in a limited manner, namely in the design of construction pits, entrance areas and shafts excavation.

A continuous groundwater level is located between 2.5 and 6.5m below the surface. Groundwater is predominantly found in subsurface zone of loose rocks and in tectonically disturbed zones or in continuously saturated fault zones.

The geotechnical model was developed in the Leapfrog Works version 2.3 software (from Sequent Ltd.), using a database purposefully compiled from available engineering geological data. The structural outlines of the station were imported into the Leapfrog model from the Revit 3D model of the station (from Autodesk Inc.). The engineering geological information used in the modeling process was provided by the client, further information was obtained from the database of the Czech Geological Survey (Geofond), the Prague Institute of Planning and Development (IPR) and from our own archives. The final reports from each stage of the engineering geological survey, which were prepared for the client by GeoTec-GS, a.s., were used as the main source of information for the compilation of the model stratigraphy.

The geotechnical 3D model, which in a simplified way describes our knowledge on geological development and its impact on the mechanical properties of the affected soils and rocks, was created based on above mentioned inputs. The geotechnical



Obr. 2 3D geologický model oblasti stanice
Fig. 2 3D geological model of the station area

POSTUP VÝSTAVBY

Technický návrh postupu ražeb byl ovlivněn zejména harmonogramem výstavby, který počítal již z dokumentace pro stavební povolení (DSP) pro ražbu stanice s dobou dvou let. Zásadním požadavkem je dokončení ražeb v takovém rozsahu, aby mohlo dojít k příjmu tunelovacích strojů z traťových tunelů, ražených ze směru od stanice Libuš, jejich protažení stanicí a následné pokračování strojní ražby traťových tunelů směrem ke stanici Nemocnice Krč. Ražba staniční lodi je proto z důvodu urychlení ražby navržena kombinovaně přes eskalátorový tunel jih, výtahovou šachtu jih a pomocí přístupového tunelu. Tunely větvení tras a tunel odstavných kolejí budou realizovány přes přístupový a větrací tunel. Nezávisle na ražbě stanice mohou probíhat ražby všech tří šachet (obr. 3). Před příjezdem tunelovacích strojů by díky zvolenému postupu ražeb měly být vyraženy tunely větvení tras, do kterých jsou stroje přijímány. V té době bude vyražena také stanice v plné délce i profilu a oba boční tunely výhybny. K plnému vyražení výhybny bude podle časového harmonogramu chybět část středního výrubu, nicméně to nebrání protažení strojů přes stanici, výhybnu a jejich dalšímu postupu ve směru ke stanici Nemocnice Krč.

TECHNICKÉ ŘEŠENÍ RAŽEB

Stanice Nové Dvory je navržena v celkové ražené délce 175,958 m. Na severu navazuje na traťové tunely, na jihu stanice končí čelem výhybny. Profil staničního tunelu je typicky rozdělen na boční tunely a střední výrub, každý z těchto dílčích výrubů pak na kalotu, opěří, resp. jádro a dno. Nicméně zásadnější z hlediska postupu výstavby je návrh dómu a křížení stanice s eskalátorovým tunelem jih. Logisticky komplikovaná bude i rozrážka tunelů větvení tras a tunelu odstavných kolejí.

Rozrážka stanice v místě dómu

V projektu PDPS byl v místě zaústění výtahové šachty jih a přístupového tunelu do staniční lodi navržen dóm, neboli ražená kaverna orientovaná kolmo na osu stanice, která slouží k postupnému rozražení staniční lodi do obou stran. Z hlediska realizovatelnosti ražeb,

model is represented by coherent blocks (geotypes), differing based on specific engineering geological properties. This 3D model serves as a general and especially for the entire area as an uniform input for the excavation design and for the calculation analyses models. During the project coordination, the possibility of generating two-dimensional profiles in any place of the area of interest is a significant benefit of the 3D model.

However, like any other geological data, the 3D model is only an interpretation of discretely distributed point information, and it is necessary not to fall under impression that geological and geotechnical conditions are clearly defined (Fig. 2).

CONSTRUCTION SEQUENCES

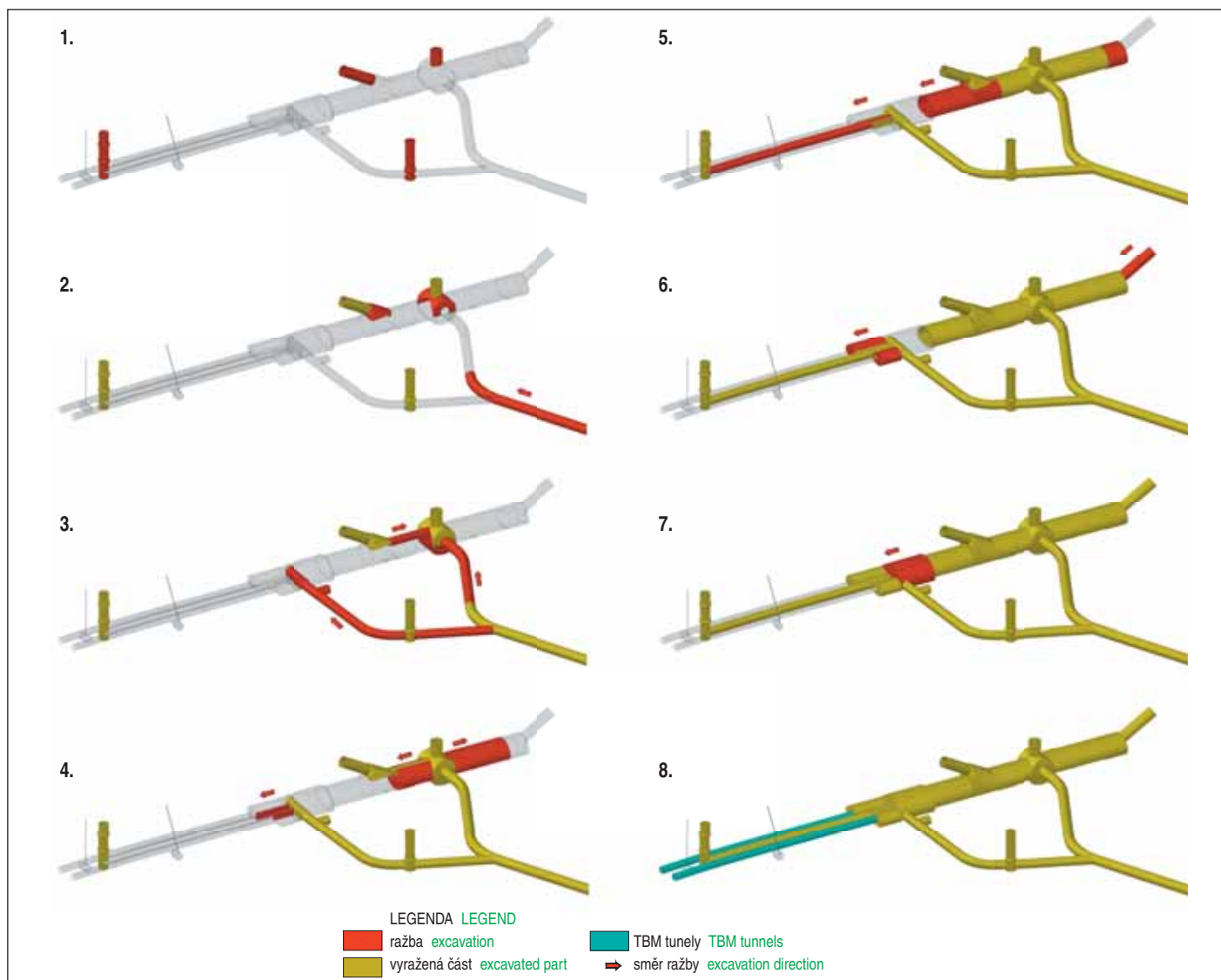
The technical solution of the excavation sequences was affected mainly by the construction programme, which was already done from the documentation for the building permit (DSP). Duration of two years was expected for the station excavation. The completion of the station excavations to accommodate tunnel boring machines (excavated running tunnels from the Libuš station), pulling them through the station and restarting the excavation towards the Krč Hospital station is the general requirement in this programme. The construction sequences of the station therefore combine access via escalator tunnel south, the elevator shaft south and via access tunnel to speed up the station excavation. The turnout tunnels and the parking track tunnel will be excavated through the access tunnel and through the ventilation tunnel. Independently of the station excavation, all three shafts can be excavated (Fig. 3). Prior to the arrival of the tunnel boring machines, due to the chosen excavation sequences, turnout tunnels into which the machines are received should be excavated. At that time, the station excavation in full length and profile could be completed too as well as both side tunnels of the station crossover. According to the time schedule, a part of the middle excavation will be missing to completion station crossover, however, this does not prevent the machines from passing through the station, the crossover and their further advancing in the direction of the Krč Hospital station.

TECHNICAL SOLUTION OF EXCAVATIONS

The Nové Dvory station total excavation length is 175,958m. The station is connected to the running tunnels in the north and to the station crossover in the south. The excavation profile is typically divided into the side tunnels and a middle excavation, each of these partial excavations then on the top heading, bench, resp. core and invert. However, more challenging in terms of construction is the design of the dome and the station crossing with the escalator tunnel south. The sequencing of the turnout tunnels and the parking track tunnel will also be logistically complicated.

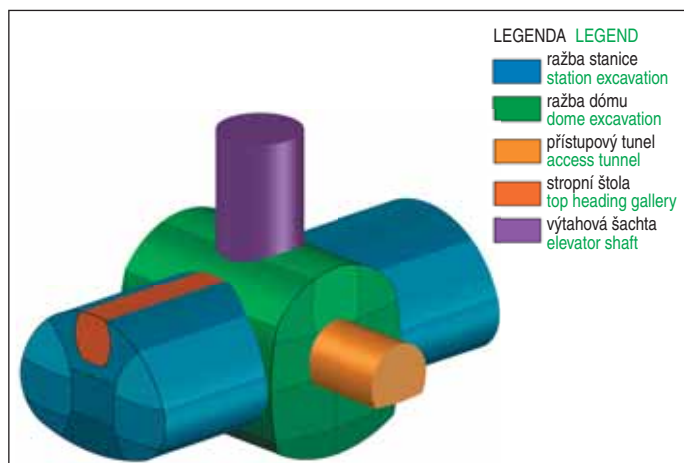
Station excavation sequencing at the dome location

In the PDPS project, a dome was designed at the area where the elevator shaft south and the access tunnel enter the station. It is a



Obr. 3 Postup ražeb objektů stanice
Fig. 3 Station construction sequences

zejména dostatečného místa pro nájezdové rampy a jejich přípustné podélné sklony, budou nejdříve vyraženy dílčí kaloty dómu z výtahové šachty jih a realizovány ztužující kotevní věnce nad budoucí ražbou kalot stanice do boků. Následuje sestup ražbou první výškové úrovně opěří dómu a propojení přístupového tunelu. Od této fáze je možné použít vodorovnou dopravu rubaniny a materiálu. Z této výš-



Obr. 4 Model ražeb v místě dómu
Fig. 4 Excavation model of the Dome

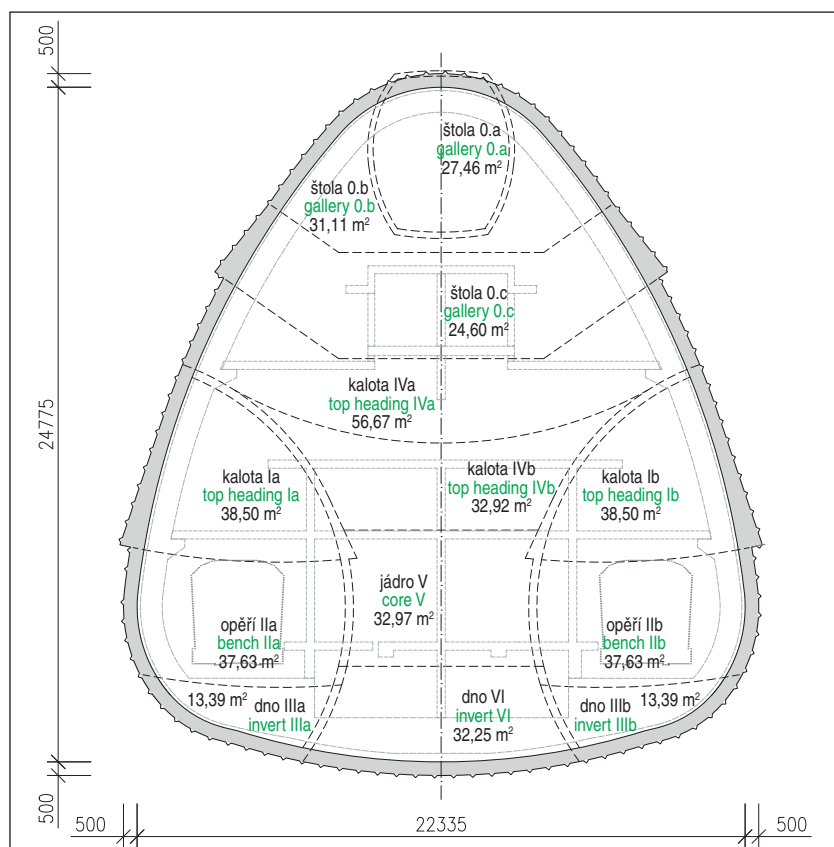
cavern oriented perpendicular to the station centerline, which serves to allow to break down the station excavation to both sides. Feasibility of excavation, especially sufficient space for bench ramps and their permissible longitudinal slopes causes that dome top headings will be excavated first from the elevator shaft south. Then stiffening collars above the future excavation of the station top headings to the sides will be realized. This will be followed by the first bench excavation decent of the dome and connecting the access tunnel to the dome. From this stage, it will be possible to use horizontal transport of the excavated material and building material. From this bench elevation, an excavation of the station's top headings (side tunnels and middle excavation) is designed, as it would no longer be possible to implement ramps for them after the entire height of the dome had been excavated. After the excavation of the station top headings to both sides, the second elevation descent of the dome bench will be realized. This is followed by regular excavation of the station by excavation the bench and the bottom, leaving the exit ramp to the access tunnel in the dome. After a sufficient distance of the station excavation faces, the bottom of the dome will be completed (Fig. 4). Prior to the secondary lining construction, a false primary lining will be built in the dome area and the free spaces behind the lining will be filled by infill concrete and fly ash stabilizer.

kové úrovně opěří je navržena rozrážka kalot stanice (bočních tunelů a středového výrubu), neboť by k nim již nebylo možné, po vyražení celé výšky dómu, realizovat těžební rampy. Po vyražení rozrážek staničních kalot na obě strany bude realizován druhý výškový sestup opěří dómu. Následuje postupně dorozražení stanice dobíráním opěří a dna s ponecháním výjezdové rampy do přístupového tunelu v dómu. Po dostatečném vzdálení čeleb staničních výrubů bude dorazeno dno dómu (obr. 4). Před realizací sekundárního ostění bude v prostoru dómu zhotoveno falešné primární ostění a volné prostory za ním vyplněny výplňovým betonem a popílkovým stabilizátem.

Křížení s eskalátorovým tunelem jih

Eskalátorový tunel jih je v důsledku požadavků na přímý výstup z nástupiště stanice a dispozice na povrchu zcela netypicky zaústěn přímo do klenby staniční lodi. V místě křížení je navržen tvar „vajíčko“ (obr. 5), s maximální výškou raženého profilu 25,8 m a šířkou 23,3 m. Ražba takového profilu je tedy více než komplikovaná zejména z důvodu geometrie – tunel se v příčném profilu v křížení prudce navyšuje a rozšiřuje do tvaru vajíčka.

V projektu je navrženo rozražení křížení pomocí stropní štolý z eskalátorového tunelu a postupně dva výškové sestupy do horní části křížení. Hlavním problémem v tomto místě je sklon eskalátorového tunelu a rychlá změna příčného profilu ostění tunelu. Příhradová vyztuž musí být osazena v přesných vzdálenostech, aby bylo možné její napojení při následné ražbě dalších dílčích výrubů. Následuje ražba bočních tunelů staničního tunelu směrem od dómu stanice do oblasti křížení a složité propojování horní části (sestupy stropní štolý) a spodní části (boční tunely) při dobrání kaloty středního výrubu. Propojování ostění bude velmi komplikované i s ohledem na nutnost vyztužení primárního ostění pomocí příhradových rámu v kroku po 0,5 m spolu s výše zmíněnou geometrickou proměnlivostí ostění.



Obr. 5 Příčný řez nejvyšším místem křížení stanice a eskalátorového tunelu jih
Fig. 5 Cross section of the highest point of crossing the station and escalator tunnel south

Station crossing with escalator tunnel south

Due to the requirements for direct exit from the station platform and the disposition on the surface, the escalator tunnel south enters to the station atypically directly into the vault. The “egg” shape is designed at the tunnels crossing (Fig. 5), with a maximum height of the excavated profile of 25.8m and a width of 23.3m. The excavation of such a profile is therefore more than complicated, mainly due to rapid profile increase and due to widening of the tunnel sides into the egg shape in the intersection.

The construction sequence expects the break down of the crossing by the ceiling gallery excavated from the escalator tunnel and two following descents of the gallery to the upper part of the crossing. The main problem at this point is the slope of the escalator tunnel and the rapid change in the transverse profile of the tunnel lining. The lattice girder reinforcement must be installed at precise position to allow their reconnection to lattice girders installed during the construction of other partial excavations. This is followed by the excavation of the station side tunnels in the direction from the station dome to the crossing area and by the final connection of the upper part (ceiling gallery descents) and the lower part (side tunnels) during the excavation of the middle excavation top heading. The interconnection of the lining will be very complicated also with regard to the need to reinforce the primary lining using lattice girders in steps of 0.5m together with the above-mentioned geometric variability of the lining.

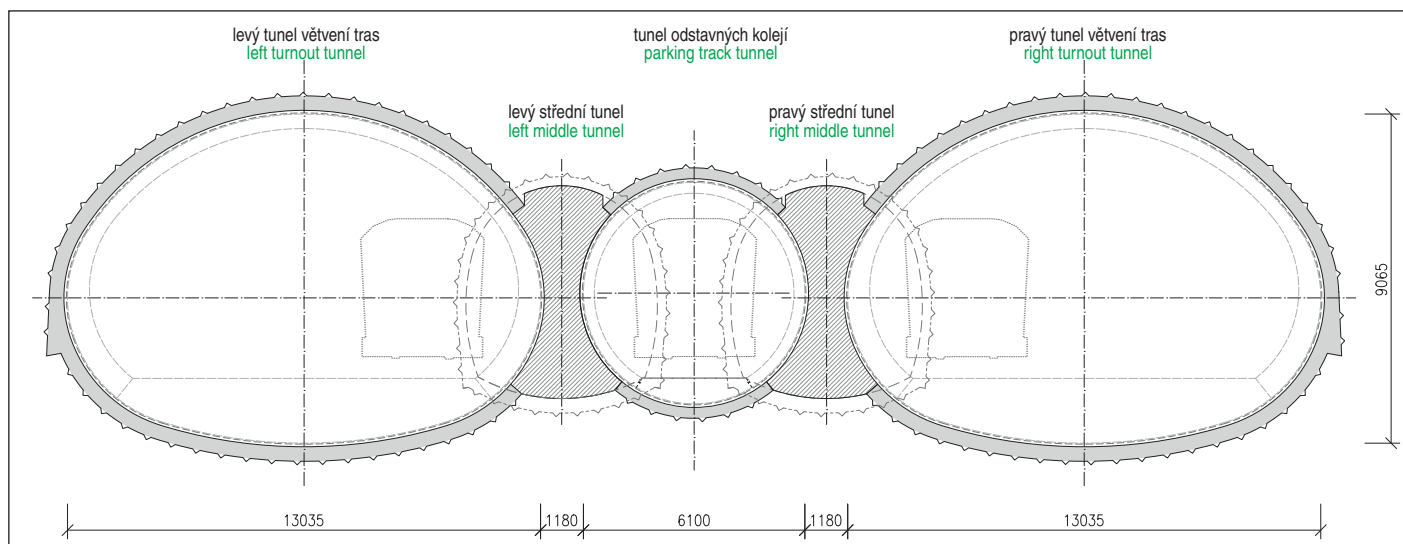
Excavation of turnout tunnels and parking track tunnel

The turnout tunnels and the parking track tunnel will be excavated from the ventilation tunnel, which will be excavated in the enlarged profile in the station crossover area. In the part, where the turnout tunnels and parking track tunnel coincidence, the right and left middle tunnels will be excavated and the middle pillars will be concreted in. This is followed by the excavation of a parking track tunnels between the pillars and further towards the ventilation shaft of the parking track tunnel. The right and left turnout tunnels will be excavated in the end. After their completion, part of the ventilation tunnel in crossover area will be filled by fly ash concrete and re-excavated during crossover construction from the station (Fig. 6).

SECONDARY LINING DESIGN

Secondary (final) lining of the station is divided into seven expansion units with a maximum length of 40m using 20mm wide movement joints. Each unit is further divided into blocks concreted in a steel sliding mold, separated by a construction joints. The length of the block (determined in the axis of the tunnel) is assumed to be 10 to 12m. The reinforcement between the individual concreting blocks is not continuous and is terminated by the closing reinforcement bars in the block, excepting expansion unit No. 2 (crossing with the escalator tunnel south), where the concreting blocks have interconnected reinforcement by couplers. The final lining of the station is designed from concrete C30 / 37 – XC1 with a circumferential waterproofing membrane. The blocks are divided into an invert and an upper vault.

The final lining (excepting unit 2) is designed with the upper vault 600mm thick and an invert in variable shape with a minimum thickness 600mm. Where the escalators are entering to the station, the



Obr. 6 Příčný řez tunely větvení tras
Fig. 6 Turnout tunnels cross section

Ražba větvení tras a tunelu odstavných kolejí

Tunely větvení tras a tunel odstavných kolejí budou raženy z větřacího tunelu, který bude v oblasti výhybní stanice vyražen ve zvětšeném profilu. V místě souběhu tunelu pro odstavné koleje s tunely větvení tras budou nejdříve vyraženy pravý a levý střední tunel a budou vybetonovány středové pilíře. Následuje ražba tunelu odstavných kolejí mezi pilíři a dále směrem k větrací šachtě odstavných kolejí. Jako poslední budou vyraženy pravý a levý tunel větvení tras. Po jejich dokončení bude větrací tunel v místě výhybní zaplněn popříkabetonem a přeražen v rámci ražby výhybní stanice směrem ze stanice (obr. 6).

NÁVRH SEKUNDÁRNÍHO OSTĚNÍ

Projekt předpokládá dělení sekundárního (definitivního) ostění stanice na sedm dilatačních celků o maximální délce 40 m pomocí dilatačních spár šířky 20 mm. Jednotlivé dilatační celky se dále dělí na bloky betonované v ocelové posuvné formě, oddělené pracovní spárou. Délka bloku (stanovena v ose tunelu) je předpokládána 10 až 12 m. Výztuž mezi jednotlivými betonážními bloky není průběžná a je ukončena uzavírací výztuží v bloku, kromě dilatačního celku 2 (křížení s eskalátorovým tunelem jih), kde mají jednotlivé betonážní bloky propojenou výztuž pomocí šroubových spojek. Definitivní ostění stanice je navrženo z betonu C30/37–XC1 s celoplastovým hydroizolačním souvrstvím a je rozděleno na spodní klenbu a horní klenbu.

Definitivní ostění (kromě dilatačního celku 2) je navrženo s horní klenbou tloušťky 600 mm a spodní klenbou proměnného tvaru s minimální tloušťkou 600 mm. V místě ústí eskalátorů je spodní klenba prohloubena. Tvar spodní klenby v dilatačním celku 4 (dóm) je tvarově atypický, vyklenutý ve směru osy stanice. Vnější rozměry tunelového profilu jsou v typickém profilu 21,7 × 14,7 m (šířka × výška), v prohloubeném profilu pak 21,7 × 16,2 m. Definitivní ostění v dilatačním celku 2 je navrženo s tloušťkou horní klenby 800 mm. Spodní klenba je navržena s minimální tloušťkou 860 mm v nejnižším profilu křížení (= profil stanice) a 920 mm v nejvyšším profilu křížení. Vnější rozměry tunelového profilu jsou v nejnižším profilu křížení 22,1 × 14,9 m, v nejvyšším místě křížení potom 22,1 × 24,3 m.

I pro sekundární ostění platí, že geometrie místa křížení stanice s eskalátorovým tunelem jih je problematická a realizace výztuží a betonáže bude extrémně složitá. Tento úsek vyžaduje použití atypického bednění, nejspíše kombinaci posuvného bednění typického profilu stanice s přidavným bedněním v náběhu křížení. Armování

invert is deepened. The shape of the invert in the expansion unit 4 (dome) is atypical in shape, arched in the direction of the station axis. The external dimensions of the tunnel profile are in a typical profile 21.7 × 14.7m (width x height), in the deepened profile 21.7 × 16.2m. The final lining in the expansion unit 2 is designed with a thickness of the upper vault of 800mm. The invert is designed with a minimum thickness of 860mm in the smallest profile (= station profile) and 920mm in the biggest profile. The external dimensions of the tunnel profile are 22.1 × 14.9m at the smallest profile and 22.1 × 24.3m at the biggest profile.

Even for the secondary lining, the geometry at the intersection of the station with the escalator tunnel south is geometrically problematic and the implementation of reinforcement and concreting will be extremely complicated. This section requires the use of atypical formwork, most likely a combination of sliding formwork of a typical station profile with additional formwork for upper part of the crossing. Reinforcement will also be atypical, as the secondary lining is shape-varying due to widening to the sides and rising upwards. Reinforcement of the lining will thus be extremely variable (each bar different), in complex shapes (compound arches), extremely demanding on technological discipline during reinforcement (the reinforcement load-bearing arches will be oblique to the reinforcement in upper part of crossing). For lining capacity reasons, the reinforcement density is very high (profiles Ø 32, Ø 40 in several layers). In addition, in expansion unit No. 2, concreting blocks reinforcement will be interconnected by couplers.

STATION INFORMATION MODEL

Project work at the Nové Dvory station was carried out in the form of an information model, the so-called BIM (Building Information Modeling) method. It is a process of creating, processing and using information about a building during its entire life cycle. However, the creation of an information model during project work is mainly focused on the creation of a detailed 3D model, which is then used to generate project documentation. In this case, documentation consists mainly of 2D drawings, bill of quantities and inputs for other disciplines.

The model also served as a basic means of mutual coordination with the general designer (METROPROJEKT Praha a.s.), who processed the adjacent construction objects of the station: internal

bude také atypické, neboť je sekundární ostění z důvodu rozšiřování do stran a náběhu nahoru v řezech tvarově proměnné. Betonářská výztuž ostění tak bude extrémně variabilní (každá vložka jiná), ve složitých tvarech (složené oblouky), extrémně náročná na technologickou kázeň při armování (nosné oblouky výztuže budou na koso k výztuži náběhu). Ze statických důvodů je výztuž navíc velmi objemná (profily Ø 32, Ø 40 místy ve více vrstvách). Navíc v dilatačním celku 2 bude mezi jednotlivými betonážními bloky propojena pomocí šroubových spojek.

INFORMAČNÍ MODEL STANICE

Projektové práce na stanici Nové Dvory byly prováděny ve formě informačního modelu, tzv. metodou BIM (Building Information Modelling). Jedná se o proces vytváření, zpracování a užívání informací o stavbě během celého jejího životního cyklu. Vytvoření informačního modelu během projektových prací je však převážně zaměřeno na vytvoření detailního 3D modelu, který následně slouží k vygenerování projektové dokumentace. Ta v tomto případě obnášela hlavně 2D stavební dokumentaci, výkazy prvků, ploch a kubatur a podklady pro další profese.

Model zároveň sloužil jako základní prostředek pro vzájemnou koordinaci s generálním projektantem (METROPROJEKT Praha a. s.), který zpracovával navazující stavební objekty stanice jako vnitřní konstrukce, objekty vestibulů, veškeré technologické vybavení nebo inženýrské sítě. Z tohoto důvodu bylo stěžejní stanovit si s generálním projektantem hned v počátku projekčních prací použité softwarové platformy, na kterých bude projekt a jeho koordinace probíhat. Program Revit byl použit již na předchozím úseku metra I.D1a. V neposlední řadě byly sjednoceny nezbytné projektové informace jako úroveň detailu modelu, použité „rodiny“, značení prvků nebo souřadnicový systém. Okrajově byl pro koordinaci použitý také software Naviswork nebo Civil 3D.

Program Revit je původně určený pro modelování zejména pozemních staveb, pro liniové stavby je tedy obtížněji využitelný. Vy-modelování ražené stanice navíc místy s velmi specifickým tvarem, v nenulovém podélném sklonu a s mnoha dalšími navazujícími konstrukcemi bylo komplikované. Nakonec se osvědčil princip vytvoření a úpravy 3D křivek podle os kolejí a jejich přenesení do 3D prostoru Revitu, kde se podle nich vytvořily komponenty specifického profilu tažené právě po těchto křivkách. Následně byly prostorové komponenty domodelovány do požadovaného tvaru, např. ořezáním nebo spojením s navazujícími objekty. Pro některé případy, jako je křížení stanice s eskalátorovým tunelem jih, samotné modelovací nástroje Revitu nestačily a bylo tak nutné použít speciální modelovací program Rhinoceros 3D (od firmy Robert McNeel & Associates).

Předmětem informačního modelu společnosti Mott MacDonald CZ, spol. s r.o. byla kompletní konstrukce železobetonového definitivního ostění stanice, tunelů a šachet, podrobně popsanych výše. Z důvodu koordinace byly vymodelovány také dočasné konstrukce stavebních jam pro vestibuly a strojovnu vzduchotechniky a primární ostění. Ostatní profese měly vypracovaný samostatný informační model a probíhala s nimi pravidelná koordinace vkládáním jednoho modelu do druhého. Vzájemné řešení kolizních a problematických míst tak bylo usnadněno možností prohlédnout si dané místo ve 3D a pochopit tak lépe možnosti řešení nesrovnalostí.

Po vyprojektování a vymodelování kompletních částí stanice bylo přistoupeno k tvorbě samotné výkresové dokumentace z programu Revit. Je nutné zmínit, že časová náročnost dopracování jednotlivých generovaných výstupů (pro případ podzemní liniové stavby) do formy kvalitní 2D výkresové dokumentace (např. doplnění kót, popisů, apod.) je velká. Toto částečně eliminuje automatická návaznost těchto úprav na model, takže při případných změnách v konstrukci dojde k propášení změny do souvisejících výkresů. Automatické přepraco-

structures, vestibule structures, all technological equipment and engineering networks. For this reason, it was essential to determine from the beginning of the design works, the software platform for the project and its coordination with the general designer. The Revit program was already used on the previous section of metro I.D1a. Finally, project information was unified, such as the model level of detail, which “families”, element markings or the coordinate system will be used. Naviswork or Civil 3D software was also partially used for coordination.

The Revit software was originally developed for modeling of building constructions, so it is more difficult to use it for line constructions. Modeling of the mined station with a very specific shape, in a non-zero longitudinal slope and with many other related adjacent structures proved really challenging. Creating and modifying of 3D curves along to the track axes and consequent transferring of these curves to the 3D space of Revit, where components of a specific profile were drawn along these curves proved to be effective way forward. Subsequently where these specific spatial components modeled into the desired shape, e.g. by trimming or joining with adjacent objects. For some cases, such as crossing the station with the escalator tunnel south, Revit's modeling tools alone were not enough, so it was necessary to use a special modeling software Rhinoceros 3D (from Robert McNeel & Associates).

Mott MacDonald CZ information model contains all reinforced concrete structure comprising of final lining of the station, tunnels and shafts, described in detail above. For the purpose of coordination, temporary structures as construction pits for the vestibules, the air-conditioning machine room and the primary lining were also modeled. The other disciplines had a separate information model which was regularly coordinated by superimposing with our one. The possibility to explore the structures in 3D significantly simplified collisions and inconsistencies resolution process.

Once the design process was finished and 3D model of the structures were completed, set of 2D drawings was developed. It is necessary to pointed out that the time required to complete the individually generated outputs (for the case of the underground line structure) into the 2D drawing of adequate quality (e.g. adding of dimensions, annotations, etc.) is enormous. This complexity is partially eliminated by automatic connection of these modifications to the model and thus into all related drawings. Real benefit is automatic updating of the changes in elements, surfaces or cubatures tables during model changes. These tables subsequently served as a basis for creating bill of quantity and estimating construction costs following general designer methodology.

Developing of the project in line with BIM standards was a great challenge for the team of designers, especially in the process of model creation. Designing of the structures in 3D space is significantly different from the established procedures for creating 2D documentation. The benefit of developing of a construction project in the BIM is the prevention of possible problems during construction and during the entire life of the construction already in the project phase.

STATIC ANALYSES

The primary lining was analysed by using 2D and 3D calculation models in Plaxis and Midas GTS NX. 3D calculations are described in more detail in a separate article in this issue of Tunel [2].

vání tabulek prvků, ploch nebo kubatur při těchto změnách modelu je výhodou pak zcela jasnou. Tyto tabulky následně sloužily jako podklad pro tvorbu výkazu výměr a vyčíslení nákladů stavby podle metodiky generálního projektanta.

Využití tvorby projektu formou BIM bylo pro tým projektantů velkou výzvou zejména v procesu tvorby modelu. Způsob formování konstrukcí do 3D prostoru je značně odlišný od zavedených postupů při vytváření 2D dokumentace. Přínosem zpracování projektu stavby v režimu BIM je předcházení možným problémům při výstavbě a v průběhu celé životnosti stavby již v projektové fázi.

STATICKÉ ANALÝZY

Výpočet primárního ostění byl staticky posuzován pomocí 2D a 3D výpočtů v programech Plaxis a Midas GTS NX. 3D výpočty jsou podrobněji popsány v samostatném článku v tomto čísle časopisu Tunel [2].

Výpočty sekundárního ostění šachet a tunelů byly provedeny ve 2D a 3D výpočtech programem Autodesk ROBOT Structural Analysis (od firmy Autodesk Inc.).

Pro výpočet jednotlivých dilatačních celků byly použity tři typy modelů:

- prutový 2D model byl použit na dilatačních celcích, které mají převážně konstantní příčný profil po celé své délce;
- desko-stěnový 3D model s hmotou modelovanou tloušťkou desek byl použit na dilatačních celcích s proměnným příčným profilem po své délce, a tloušťkou desek dostatečně malou tak, aby bylo možné ji idealizovat do střednicové plochy;
- desko-stěnový 3D model s hmotou modelovanou soustavou desek a stěn podle konceptu příhradové analogie byl použit na dilatačních celcích s proměnným průřezem po své délce a tloušťkou desek dostatečně větší, než aby bylo možné ji idealizovat do střednicové plochy.

Železobetonové konstrukce byly posouzeny na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti a to při krátkodobém a dlouhodobém působení konstrukce. Komplexnost výpočtových modelů zahrnující definitivní ostění a složité vnitřní nosné konstrukce lze demonstrovat na výpočtovém modelu křížení stanice s eskalátorovým tunelem jih (obr. 7).

Pro celou oblast stanice Nové Dvory byla zpracována analýza sedání pomocí programu GRP8 (vnitrofiremní program Mott MacDonald) a následná interpretace poklesové kotliny v programu Surfer (od firmy Golden Software, obr. 8).

Na základě zkušeností byly stanoveny „základní“ hodnoty objemové ztráty (*Volume Loss*) 1 % pro zdravé horniny, 2,5 % pro horniny postižené tektonikou a 0,4 % pro traťové tunely ražené tunelovacími stroji. Výsledné tvary a velikosti poklesové kotliny byly ještě korelovány s výsledky numerických analýz ražeb.

ZÁVĚR

Projekt stanice Nové Dvory svojí složitostí návrhu vyžadoval v mnoha ohledech nové přístupy. Bylo použito objektové 3D modelování v programu Revit a BIM přístup v koordinaci jednotlivých profesí. Složité konstrukce vyžadovaly náročné 3D numerické modely jak pro analýzu ražeb a návrh primárního ostění, tak i pro výpočet sekundárního ostění.

The shafts and tunnels secondary lining structural analyses were carried out in 2D and 3D models in the Autodesk ROBOT Structural Analysis software (from Autodesk Inc.).

Three types of models were used to calculate the individual expansion units:

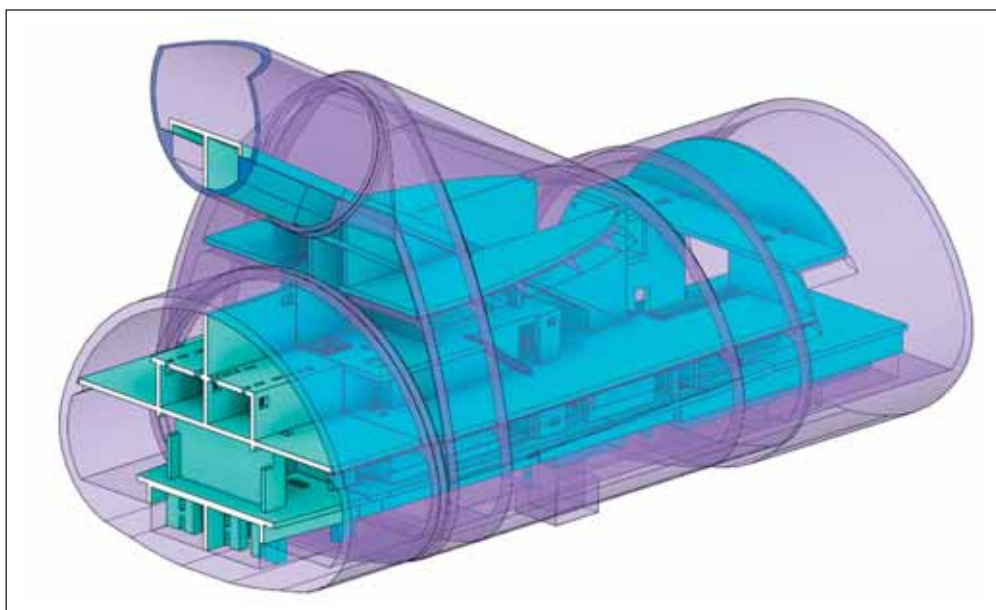
- 2D beam elements model was used on sections, which have a predominantly constant cross-sectional profile along their entire length;
- 3D shell model with a mass modeled by the plate thickness was used on sections with a variable cross-section along its length, and a plate thickness small enough to idealize it by a median area;
- 3D shell model with applied strut and tie analogy for modelling mass of the elements was used for sections with variable cross-section along its length and slab thickness sufficiently larger to be idealized by a median area.

Reinforced concrete structures were assessed for the ultimate limit state and the serviceability limit state of short-term and long-term operation of the structure. The complexity of the analyzed models, including the final lining and the complex internal load-bearing structures, can be demonstrated on the complex model of the crossing the station with the escalator tunnel south (Fig. 7).

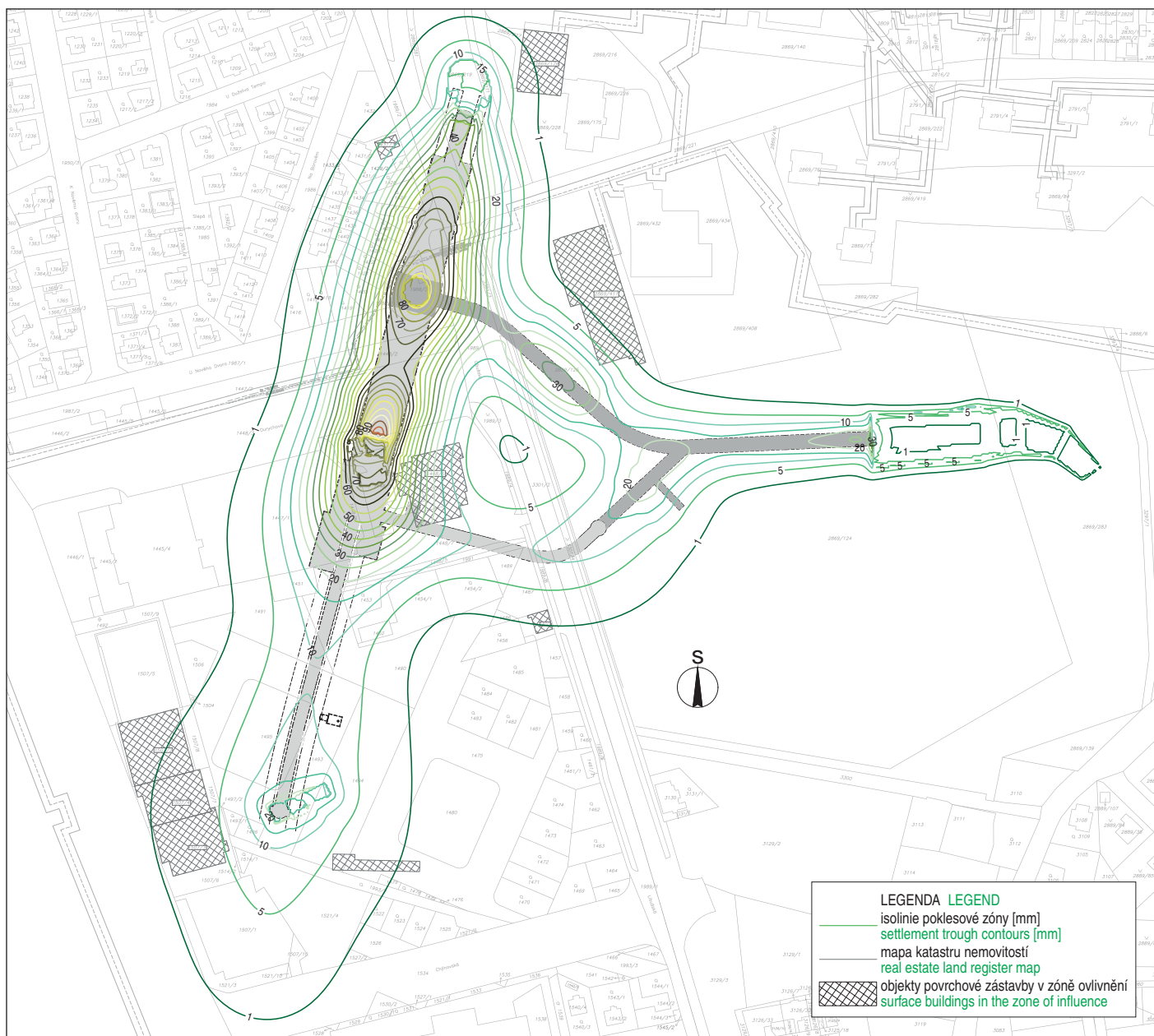
For the whole area of the Nové Dvory station, the settlement analysis was prepared using the GRP8 program (internal Mott MacDonald) and the following interpretation of the settlement trough in the Surfer software (from Golden Software) (Fig. 8). Based on experience, “basic” volume loss values were set at 1% for healthy rocks, 2.5% for rocks affected by tectonics and 0.4% for running tunnels excavated by tunnel boring machines. The resulting shapes and magnitude of the settlement trough were further correlated with the results of numerical analyses of the excavations.

CONCLUSION

The Nové Dvory station project, with its design complexity, required new approach in many aspects. Object 3D modeling in Revit and the BIM approach were used in the coordination of individual disciplines. Complex structures required demanding 3D numerical models both for the analysis of excavations and the design of the primary lining, as well as for the assessment of the



Obr. 7 Axonometrie 3D modelu dilatačního celku č. 2 pro výpočet definitivních konstrukcí
Fig. 7 Axonometric 3D model of expansion unit No. 2 for structural analyses



Obr. 8 Situace předpokládaných poklesů od ražby

Fig. 8 Situation of expected settlements induced by excavation

Zároveň byl tento přístup u složitých konstrukcí výrazně časově náročný a narážel také na mantinely výkonu výpočetní techniky.

Stejně jako byl nutný nadstandardní přístup v rámci projektové přípravy, bude třeba nadstandardní přístup všech zainteresovaných subjektů také v rámci realizace tak složité konstrukce, jakou stanice Nové Dvory bezpochyby je.

Ing. PETR MAKÁSEK, Ph.D., petr.makasek@mottmac.com,

Ing. ALEŠ VEVERKA, ales.veverka@mottmac.com,

Ing. MICHAL HNILICKA, michal.hnilicka@mottmac.com,

Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.

Recenzoval Reviewed: Ing. Jan Korejčík

secondary lining. Adopted approach was especially for complex structure significantly time-consuming and ran also into the limits of the computer hardware.

An extra care has been taken in the Nove Dvory project design phase, and it will require no lesser level of care from all involved parties in the construction phase of such a complex structure as Nove dvory station undoubtedly is.

Ing. PETR MAKÁSEK, Ph.D., petr.makasek@mottmac.com,

Ing. ALEŠ VEVERKA, ales.veverka@mottmac.com,

Ing. MICHAL HNILICKA, michal.hnilicka@mottmac.com,

Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.

LITERATURA / REFERENCES

[1] SOD 19 Stanice Nové Dvory – dokumentace PDPS. Mott MacDonald CZ, spol. s r.o., 2020

[2] SOBOLOVÁ, K., HRUBÝ, V. Stanice Nové Dvory – Statický návrh primárního ostění použitím 3D výpočtu. *Tunel*, 2022, č. 1, v tisku

STANICE NOVÉ DVORY – STATICKÝ NÁVRH PRIMÁRNÍHO OSTĚNÍ POUŽITÍM 3D VÝPOČTU

NOVÉ DVORY STATION – STRUCTURAL DESIGN FOR PRIMARY LINING USING 3D COMPUTATION

KATARÍNA SOBOLOVÁ, VĚROSLAV HRUBÝ

ABSTRAKT

Tento článek se zabývá problematikou statického návrhu primárního ostění částí stanice Nové Dvory za pomoci prostorového numerického modelu. Jednoduchá stanice Nové Dvory je součástí aktuálně připravované trasy I.D pražského metra. Vzhledem ke složité geometrii stanice Nové Dvory a komplikovaným vztahům s přilehlými konstrukcemi se volba prostorového modelu ukázala jako nezbytná nejen pro hospodárný návrh primárního ostění, ale i pro optimální a vhodnou volbu postupu ražby stanice (na základě informací dostupných v době vypracování projektu). Dále jsou představeny předpokládané geologické podmínky, jejich interpretace a je prezentována použitá metodologie výpočtu primárního ostění.

ABSTRACT

This paper deals with the issue of the structural design for the primary lining of parts of the Nové Dvory station using a spatial numerical model. The Nové Dvory single-vault station is part of the currently planned I.D line of the Prague metro. With respect to the complex geometry of the Nové Dvory station and complicated relationships with adjacent structures, the choice of a spatial model proved to be necessary not only for the economic design of the primary lining, but also for optimal and appropriate choice of the station excavation procedure (based on information available at the time of the work on the design). Furthermore, the assumed geological conditions and their interpretation as well as the methodology used to analyse the primary lining are presented.

ÚVOD

Ražená jednoduchá stanice Nové Dvory v rámci plánované trasy I.D pražského metra je z pohledu geometrie velmi zajímavá. V podélném řezu ji lze rozdělit na několik částí s rozdílnými profily, do kterých se napojují další konstrukce (např. šikmé eskalátorové tunely, výtahová šachta a další). Tato geometrická náročnost a nesourodost vedla k závěru, že pro vyhodnocení některých částí konstrukce nelze využít rovinný model.

Křížení staničního tunelu s eskalátorovým tunelem jih (ETJ) a ražba dómu (kaverny kolmé na staniční tunel pro potřebu rozrážky stanice) byly vyhodnoceny jako geometricky a stavebně nejkomplikovanější částí stanice Nové Dvory, kde bylo nutné přistoupit k využití prostorového numerického modelu.

V případě dómu se jedná o typický problém, který bylo nutno řešit 3D modelem. Konstrukce je vysoká 21,8 m a ze čtyř stran jsou k ní napojeny další ražené konstrukce, a to výtahová šachta shora, přístupový tunel z čela a staniční tunel ze stran.

Také oblast křížení stanice s ETJ vyžaduje komplexní 3D model, neboť profil křížení v nejvyšším místě dosahuje výšky téměř 26 m a čelba výrubu je rozdělena na 13 dílčích výrubů, doprovázených komplikovaným napojením výrubu stanice na stropní štolu.

Zde však nebude uveden popis širších souvislostí a postupu výstavby, protože tomuto tématu je věnován samostatný článek uvedený rovněž v tomto čísle časopisu Tunel (Makásek a kol., 2022).

GEOLOGICKÉ POMĚRY, GEOTECHNICKÝ MODEL A GEOTECHNICKÉ PARAMETRY

V oblasti stanice Nové Dvory byl firmou GeoTec-GS, a.s., proveden inženýrskogeologický průzkum. Na základě rešerše podkladů z průzkumu byl v programu Leapfrog (od firmy Sequent Limited) zhotoven geotechnický 3D model. Výhodou modelu je

INTRODUCTION

The Nové Dvory mined single-vault station within the framework of the planned I.D line of the Prague metro is very interesting in terms of geometry. In the longitudinal section, it can be divided into several parts with different profiles, to which other structures are connected (e.g. inclined escalator tunnels, a lift shaft and others). This geometric complexity and inconsistency led to the conclusion that a planar model could not be used to assess some parts of the structure.

The crossing of the station tunnel with the escalator tunnel South (ETS) and the excavation of the dome (a cavern perpendicular to the station tunnel for the starting point-of-attack to the station) were evaluated as the most geometrically and structurally complicated parts of the Nové Dvory station, where it was necessary to use a spatial numerical model.

In the case of the dome, this is a typical problem which had to be solved using a 3D model. The 21.8m high structure and other mined structures are connected to it from four sides, namely a lift shaft from the top, an access tunnel from the front end and the station tunnel from the sides.

The area of the crossing of the station with the ETS also requires a complex 3D model, as the profile of the crossing at the highest point reaches a height of almost 26m and the excavation face is divided into 13 partial headings, which are accompanied by complicated connection of the station excavation to the top heading gallery.

However, a description of the wider connections and the construction progress will not be given here, as a separate article is also devoted to this topic in this issue of TUNEL journal. (Makásek a kol., 2022)

jeho použitelnost v kterémkoli místě zájmové oblasti. Geotechnický 3D model sloužil jako hlavní prostředek pro zpracování geologického profilu do výpočetních modelů. Geotechnický model zjednodušeným způsobem reprezentoval kvazihomogenní celky předpokládané v oblasti stanice, které se lišily ve specifických inženýrskogeologických a geotechnických vlastnostech.

Celková výška nadloží nad klenbou stanice je v nejvyšším místě cca 21,5 m.

Kvartérní pokryv reprezentují zeminy značně proměnlivého genetického původu (deluviální, fluviální a deluviofluviální). Celková ověřená mocnost kvartérního pokryvu je převážně mezi 1 až 2 m, ojediněle až 3,7 m. Zrnitost zemin je místo od místa velmi proměnlivá. Zastiženy byly čisté jily (třídy F6 CI), zeminy písčitojíllovité a šterkovitojíllovité (třídy F4 CS, F2 CG, F3 MS) i zeminy písčité (třídy S3 S-F, S4 SM). Nesoudržné zeminy jsou středně ulehle, u soudržných zemin byla ověřena konzistence tuhá, pevná i tvrdá. Při povrchu terénu se vyskytuje nesouvislá vrstva navážek.

Předkvartérní podklad je tvořen horninami paleozoika (ordoviku). Ražbou budou zastižena souvrství dobrotivské a libeňské. Obě souvrství se dále dělí na vrstvy (facie) tvořené prachovitými až jílovitoprachovitými, silně slídnatými stejnorodými břidlicemi (dobrotivské a libeňské) a vrstvy tvořené křemitými pískovci či křemenci s vložkami prachovců flyšového charakteru (skalecké a řevnické). Povrch hornin předkvartérního podkladu je jen mírně zvlněný a obecně kopíruje povrch terénu. Zastiženy budou horniny od zcela zvětralých až po zdravé a zároveň byly průzkumnými pracemi popsány zóny s větším či menším vlivem tektonických procesů, tvořící horniny podrcené až prohnětené.

Při stanovení hodnot geotechnických parametrů jednotlivých geotypů (kvazihomogenních celků) bylo po uvážení rozhodujících faktorů přistoupeno ke konzervativní volbě charakteristických hodnot geotechnických parametrů. Konzervativní přístup

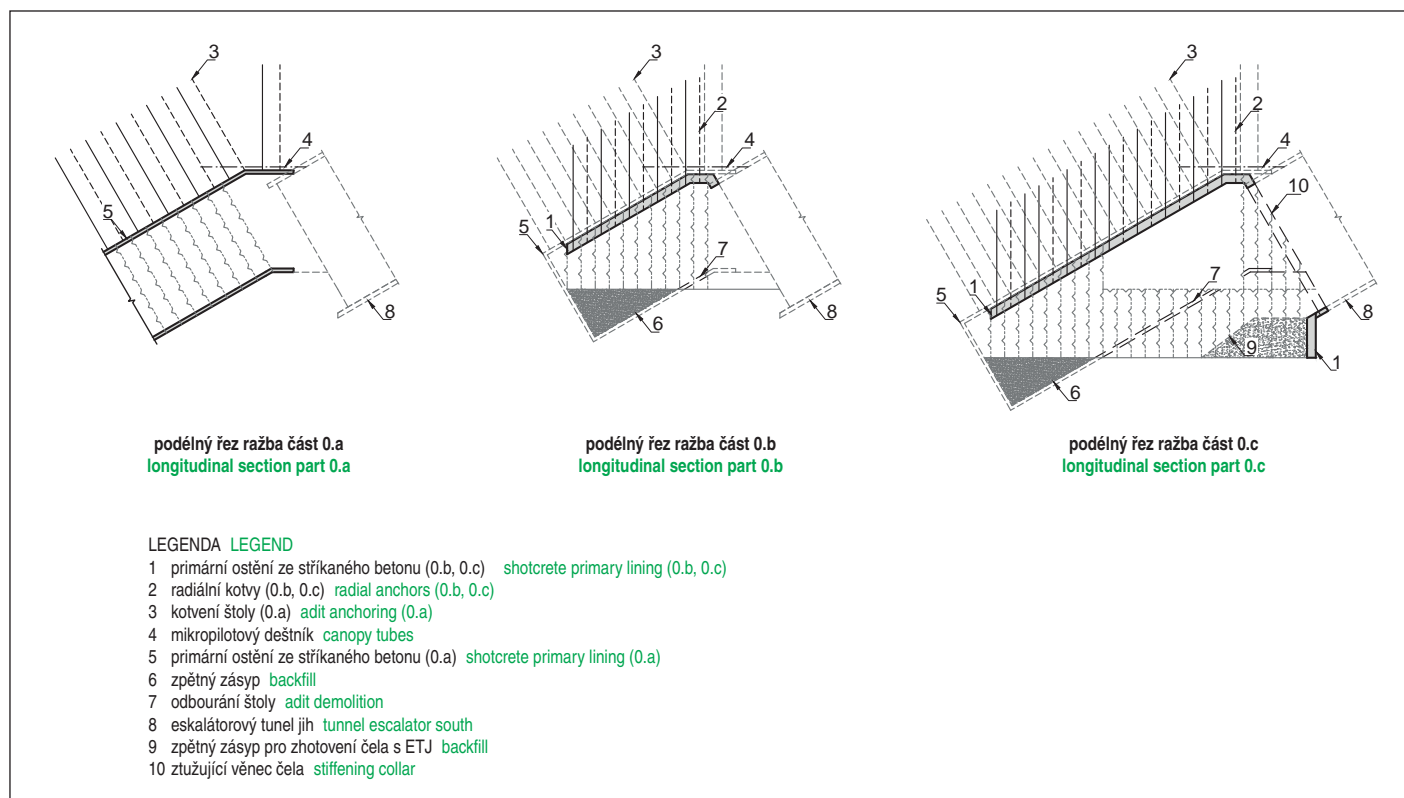
GEOLOGICAL CONDITIONS, GEOTECHNICAL MODEL AND GEOTECHNICAL PARAMETERS

An engineering-geological survey was carried out by GeoTec-GS, a.s., in the area of the Nové Dvory station. Based on a research of source documents of the survey, a geotechnical 3D model was developed in the Leapfrog program (from Sequent Limited). The advantage of the model is its applicability to any area of interest. The geotechnical 3D model served as the main background for processing the geological profile into a numerical model. The geotechnical model represented in a simplified way the quasi-homogeneous units encountered in the area of the station, which differed in specific engineering geological properties.

The total height of the overburden above the station reach approximately 21.5m at the highest point.

The Quaternary cover is represented by soils of highly variable genetic origin (deluvial, fluvial and deluviofluvial). The verified total thickness of the Quaternary cover ranges mostly from 1 to 2m, occasionally up to 3.7m. The grain-size composition is very variable from place to place. Clay (F6 CI), sandy-clay and gravel-clay soils (F4 CS, F2 CG, F3 MS) and sandy soils (S3 S-F, S4 SM) were encountered. Cohesionless soils are moderately compacted; the stiff and solid consistency has been verified for cohesive soils. At the surface of the terrain there is a discontinuous layer of made ground.

The pre-Quaternary base is formed by Palaeozoic (Ordovician) rock types. The excavation will encounter the Dobrotiv and Libeň Formations. Both formations are further divided into layers (facies) formed by silty to clayey-silty, heavily micaceous homogeneous shale (Dobrotiv and Libeň formations) and layers formed by quartziferous sandstone or quartzite with flysh-character siltstone inserts (Skalec and Řevnice formation). The surface of the rock forming the pre-Quaternary base is only slightly undulated and



Obr. 1 Postup ražby stropní štoly a přístropí v oblasti křížení s ETJ

Fig. 1 Procedure of excavation of the top heading gallery and the top heading from the area of the crossing with the ETS

byl v případě pokryvných útvarů obhájěn skutečností, že vzhledem k jejich omezenému vlivu na navrženou konstrukci by volba odvážnějších hodnot neumožnila významně hospodárnější návrh. V případě hornin skalního podloží byl konzervativní přístup obhájěn faktem, že vzhledem ke složitosti geotechnických podmínek i náročnosti ražených částí stanice by volba odvážnějších hodnot znamenala značné riziko pozdějších vícenákladů na dodatečná opatření pro kompenzaci zhoršených podmínek.

TECHNOLOGIE VÝSTAVBY

Technologie výstavby stanice Nové Dvory je předpokládána pomocí Nové rakouské tunelovací metody (NRTM), jejímž hlavním znakem je využití nosné schopnosti horninového masivu. Prvotní deformace před aplikací primárního ostění příznivě ovlivňují přeskupení koncentrace napětí v oblasti výrubu.

Ražba křížení s eskalátorovým tunelem jih

Ražba stanice v místě křížení s ETJ je navržena zahájením ražby stropní štoly z ETJ směrem do dómu. Stropní štola rozměrů $5,4 \times 5,8$ m klesá z ETJ do stanice v délce 20,6 m a pokračuje dále do dómu v délce 36 m v oblasti kaloty středního výrubu stanice. Stropní štola bude ražena ve třech postupných fázích (obr. 1). Nejdříve je vyražena v délce 10 m (část 0a) a je realizován první sestup v oblasti křížení (část 0b). Následuje ražba štoly dalších 8 m (část 0a) a je realizován druhý sestup v oblasti křížení (část 0c). Následně je štola (část 0a) doražena až do dómu stanice.

Ražba staniční lodi probíhá z dómu stanice. Do prostoru křížení stanice s ETJ přichází ražba staniční lodi ve chvíli, kdy je vyražena stropní štola včetně dvou sestupů v přístropí. Horní část výrubu křížení je tedy vyražena s předstihem. V místě křížení je dodržena stejná sekvence pobírání bočních tunelů, dělená na kalotu, opěří a dno jako v typickém profilu stanice. Pouze dochází k modifikaci (zvětšování) výrubu z důvodu navyšování raženého profilu v křížení s ETJ do tvaru připomínající vajíčko. V rámci výrubu střední kaloty dochází k propojování již vyražených částí, tedy sestupů v přístropí s bočními tunely stanice a výsledného tvaru horní klenby stanice v křížení s ETJ. Staniční tunel je do celkového tvaru doražen jádrem a dnem středního výrubu.

Ražba dómu

V místě ústí přístupového tunelu a výtahové šachty jih byl pro účely ražby staniční lodi navržen dóm. Jedná se o ražený tunel délky 25,8 m, o světelných rozměrech ražby $19,52 \times 21,8$ m (šířka \times výška) kolmý na staniční tunel.

Profil dómu byl rozdělen celkem na osm dílčích částí. Rozražení kaloty dómu je navrženo z výtahové šachty jih postupnými dílčími výrubu (I, IIa, IIb) po jejichž vyražení budou navrtány lanové kotvy a realizovány ztužující kotevní prahy nad budoucím rozražením stanice do boků. Poté dojde k prorážce stropní štoly stanice, ražené z ETJ prostorem křížení stanice (s ETJ) až do dómu. Pokračuje ražba opěří dómu (IIIa, IIIb), ze kterého je zahájeno rozražení kalot staniční lodi do obou stran v typickém profilu stanice. Vzhledem k dostupnosti mechanizace během ražby je postup ražby (sousednost dílčích výrubů) staniční lodi v tomto místě upraven tak, že budou raženy zárodky všech tří kalot (bočních tunelů a středního dílčího výrubu) na obě strany. Následuje ražba opěří dómu (IVa a IVb), z jejichž výškové úrovně dochází k ražbě opěří a dna dílčích výrubů stanice v typické souslednosti ražeb, tj. boční tunely a poté střední dílčí výrub. Po vyražení

generally copies the surface of the terrain. Completely weathered to fresh rock will be encountered. At the same time, zones more or less influenced by tectonic processes creating crushed to kneaded rock were described by the survey.

A conservative choice of characteristic values of geotechnical parameters was made when determining the values of geotechnical parameters of individual geotypes (quasi-homogeneous units) after taking the decisive factors into consideration. The conservative approach was defended in the case of the cover by the fact that, given the complexity of geotechnical conditions and the exactingness of the mined parts of the station, the choice of bolder values would mean significant risk of subsequent added costs of additional measures for compensation of worsened conditions.

CONSTRUCTION TECHNIQUE

Application of the New Austrian Tunnelling Method (NATM) is assumed for the Nové Dvory station construction. Its main feature is the use of the load-bearing capacity of the rock massif. The initial deformations before the installation of the primary lining favourably affect the rearrangement of the stress concentration in the excavation area.

Excavation of the crossing with the escalator tunnel South

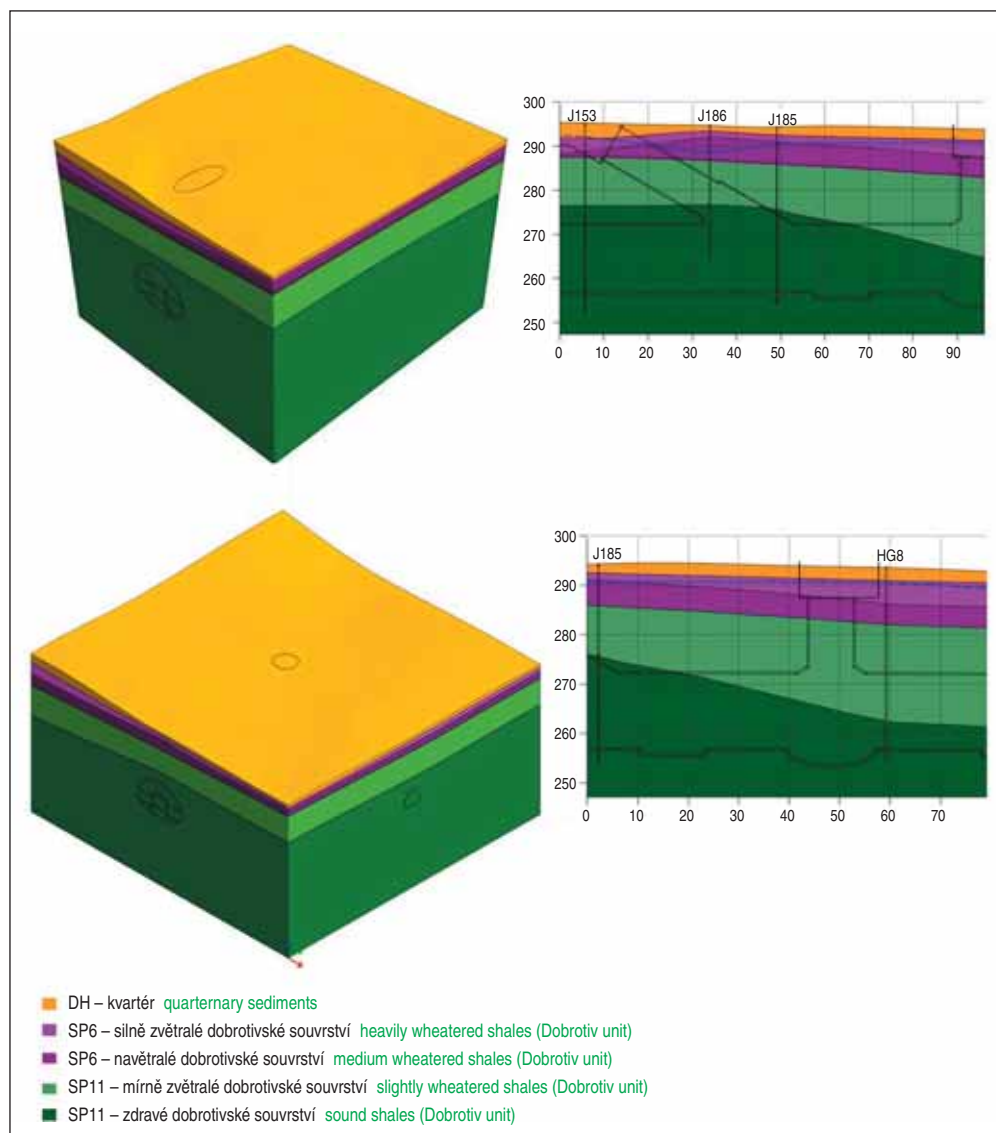
The excavation of the station at the crossing with the ETS is designed to start by the excavation of the top heading gallery from the ETS towards the dome. The top heading gallery with dimensions of 5.4×5.8 m descends from the ETS to the station along the length of 20.6 m and continues to the dome along the length of 36 m in the area of the top heading of central excavation of the station. The top heading gallery will be excavated in three successive phases (see Fig. 1). First, 10 m of gallery full face is excavated (part 0a), followed by the first descent of the excavation (part 0b). Excavation of another 8 m long section of the gallery (part 0a) follows and the second descent of the excavation cross-section in the area of the crossing (part 0c) is carried out. Subsequently, the gallery excavation (part 0a) reaches the station dome.

The station nave is excavated from the station dome. The excavation of the station comes to the area where the station crosses the ETS at the moment when the top heading gallery excavation, including two descents in the top heading, have been finished. It means that the upper part of the excavation of the crossing is excavated in advance. The same sequence dividing the excavation of side wall tunnels as in the typical station profile, i.e. top heading, bench and invert, is maintained at the crossing point. There is only a modification (increase) in the excavation volume due to the enlargement of the mined profile at the crossing with the ETS into an egg-like shape. Within the excavation of the central top heading, the already excavated parts, i.e. the descents in the top heading and the sidewall drifts of the station are connected with the resulting shape of the upper vault of the station at the crossing with the ETS. The overall profile of the station tunnel excavation is completed by the excavation of the bench and invert of the central excavation.

Dome excavation

At the end of the access tunnel and the lift shaft South, a dome was designed for the purpose of excavating the station nave. It is a 25.8 m long mined tunnel, with net excavation dimensions of 19.52×21.8 m (width \times height), perpendicular to the station tunnel.

The dome profile was divided into a total of eight parts. The excavation of the dome top heading is designed to start from



Obr. 2 Geologický model a profily křížení ETJ s dómem
 Fig. 2 Geological model and profiles of the crossing the ETS with the dome

dostatečné vzdálenosti směrem do stanice dojde k doražení dna dómu (V).

VÝPOČETNÍ MODEL

Statický výpočet pro primární ostění byl zpracován v souladu s normou ČSN EN 1997-1 Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla a ČSN EN 1990 – Zásady navrhování konstrukcí. Výpočet byl proveden na základě návrhového přístupu 2, při jehož použití se aplikuje dílčí součinitel pouze na zatížení. Podle metodologie statických výpočtů primárního ostění [1] byl návrhový přístup implementován do výpočtu úpravou vnitřních sil, při jejichž posouzení byl použit součinitel zatížení (podle návrhového přístupu 2) a dále součinitel, který zohledňuje nelineární chování materiálových modelů zemin a hornin při přechodu z charakteristických pevnostních parametrů k pevnostním parametrům návrhovým.

Výpočet ražeb byl proveden metodou konečných prvků v programu Midas GTS NX (od firmy MIDASoft). Tvar terénu a rozhraní geologických vrstev (obr. 2) byly do geotechnického výpočtového modelu importovány z geologického 3D modelu zhotoveného v programu Leapfrog. Samotná geometrie kon-

the lift shaft South by successive partial excavations (I, IIa, IIb). After the excavation, drilling for strand anchors will be carried out and stiffening beam will be carried out above the future excavation of tunnels to the sides of the station. Then the top heading gallery of the station, which will be driven to the dome from the ETS, through the area of the station crossing (with the ETS), will be broken through. The excavation of the bench of the dome (IIIa, IIIb), from which the station nave excavation headings are launched to both sides in a typical station profile, continues. With respect to the availability of mechanical equipment during the excavation, the excavation procedure (sequencing of partial excavation headings) for the station nave in this location is modified. All top heading starter drifts (sidewall tunnels and the central excavation) will be excavated to both sides. This is followed by the excavation of the dome bench (IVa and IVb), from the height of which the excavation of the bench and invert of the partial station excavation headings is carried out in a typical sequence, i.e. sidewall drifts and then the central partial excavation. After completion of excavation to a sufficient distance towards the station, the excavation of the dome invert (V) will be completed.

COMPUTATION MODEL

The structural analysis of the primary lining was prepared in accordance with the standard ČSN EN 1997-1 Eurocode 7: Design of geotechnical structures – Part 1: General rules and ČSN EN 1990 – Principles of structural design. The computation was conducted on the basis of design approach 2, in the use of which the partial factor is applied only to the loading. According to the methodology of structural analyses of primary linings [1], the design approach was applied to the analysis by adjusting internal forces, which were assessed using the load factor (according to design approach 2) and a factor that takes into account nonlinear behaviour of soil and rock material models when the characteristic strength parameters pass to design strength parameters.

The excavation computation was conducted using the finite element method in the Midas GTS NX program (from MIDASoft). The shape of the terrain and the interface between the geological layers (see Fig. 2) were imported into the computational model from the geological 3D model carried out in the Leapfrog program. The geometry of the structures, the sequencing of the excavation (see Fig. 3, 4) and the excavation support elements were inserted as a file from the AutoCAD program (from Autodesk) and were subsequently modified using the tools of the Midas GTS

strukcí, členění výrubu (obr. 3, 4) a prvků vyztužení byla vložena jako soubor z programu AutoCAD (od firmy Autodesk) a následně upravená pomocí nástrojů programu Midas GTS NX. Délka záběru kaloty, opěří a dna byla zvolena na základě zařazení do technologických tříd výrubu. Jednotlivé výpočetní kroky byly zvoleny v závislosti na navrhovaném postupu sekvenční ražby. Z důvodu zkrácení doby výpočtu bylo přistoupeno k modelování ražby staničního tunelu vedoucího z dómu na obě strany souběžně.

Geotechnické parametry byly odvozeny na základě předchozích etap inženýrskogeologického průzkumu. Pro vrstvu kvartérního pokryvu byl použit materiálový model Mohr-Coulomb, který definuje materiál jako pružný, ideálně plastický bez zpevnění. Pro vystihnutí správného chování hornin předkvartérního pokryvu byl zvolen materiálový model Hoek-Brown. Hodnoty smykových a deformačních parametrů masivu byly stanoveny pomocí softwaru RocData 5.0 (od firmy Rocscience). Proložení Mohr-Coulombovy obálky porušení v zájmovém napjatostním rozsahu lze odečíst hodnoty smykové pevnosti a deformačního modulu na základě Hoek-Brownova konstitučního vztahu. Deformační parametry jednotlivých vrstev byly dále korelovány s daty z předchozích projektů, které byly prováděny ve srovnatelném geologickém prostředí.

NX program. The length of the top heading, bench and invert excavation steps was chosen on the basis of the categorisation into the excavation support classes. The individual computational steps were chosen depending on the proposed sequential excavation procedure. To reduce the computation time, the modelling of the excavation of the station tunnel leading from the dome to both sides in parallel was applied.

Geotechnical parameters were derived on the basis of previous stages of the engineering geological research. The Mohr-Coulomb material model was used for the Quaternary cover layer, which defines the material as elastic, perfectly plastic without hardening. The Hoek-Brown material model was chosen to capture the correct behaviour of the rock forming the pre-Quaternary cover. The values of shear and deformation parameters of the massif were determined using RocData 5.0 software (from Rocscience). By insetting the Mohr-Coulomb failure envelope in the stress range of interest, the values of shear strength and strain modulus can be subtracted based on the Hoek-Brown constitutional relation. The deformation parameters of individual layers were further correlated with data from previous projects which were carried out in a comparable geological environment.

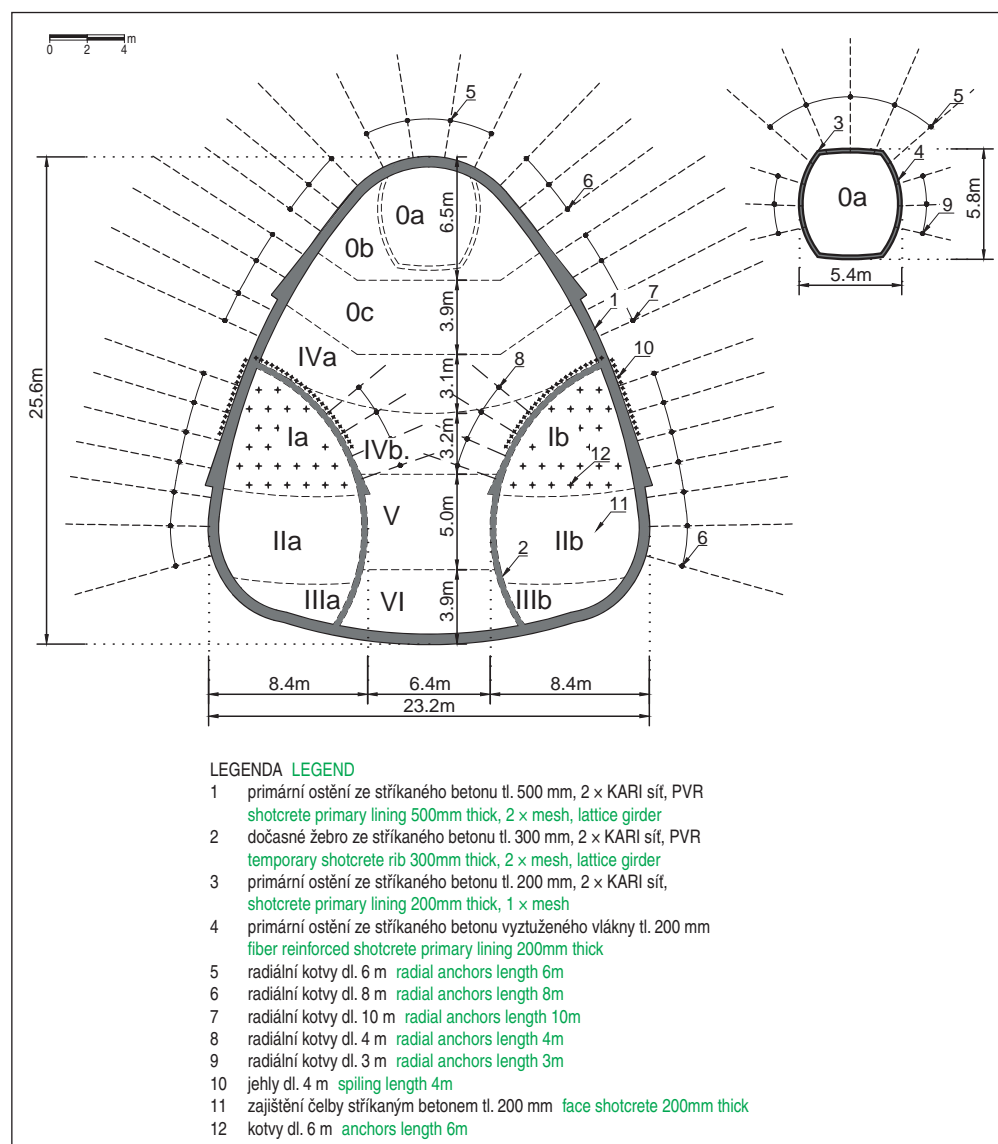
Time, either in connection with the aging of the concrete or the determination of the appropriate duration of one computation step,

was an important factor in creating the spatial model. A uniform duration of the computation step of eight hours was chosen in the case of shorter excavation steps and more complex reinforcement of the top heading as well as with a longer excavation step and simpler reinforcement of the invert.

Aging and change in the stiffness of shotcrete were introduced into the computation using the function of changes in the modulus of elasticity of the shotcrete with time. A modified J2 curve (ČSN EN 14487-1: 2006) was chosen for changes in the strength and modulus of elasticity of shotcrete during the initial 24 hours. The course of the increase in strength and modulus of elasticity according to Chang and Stille (1993) was taken into account for shotcrete older than 24 hours.

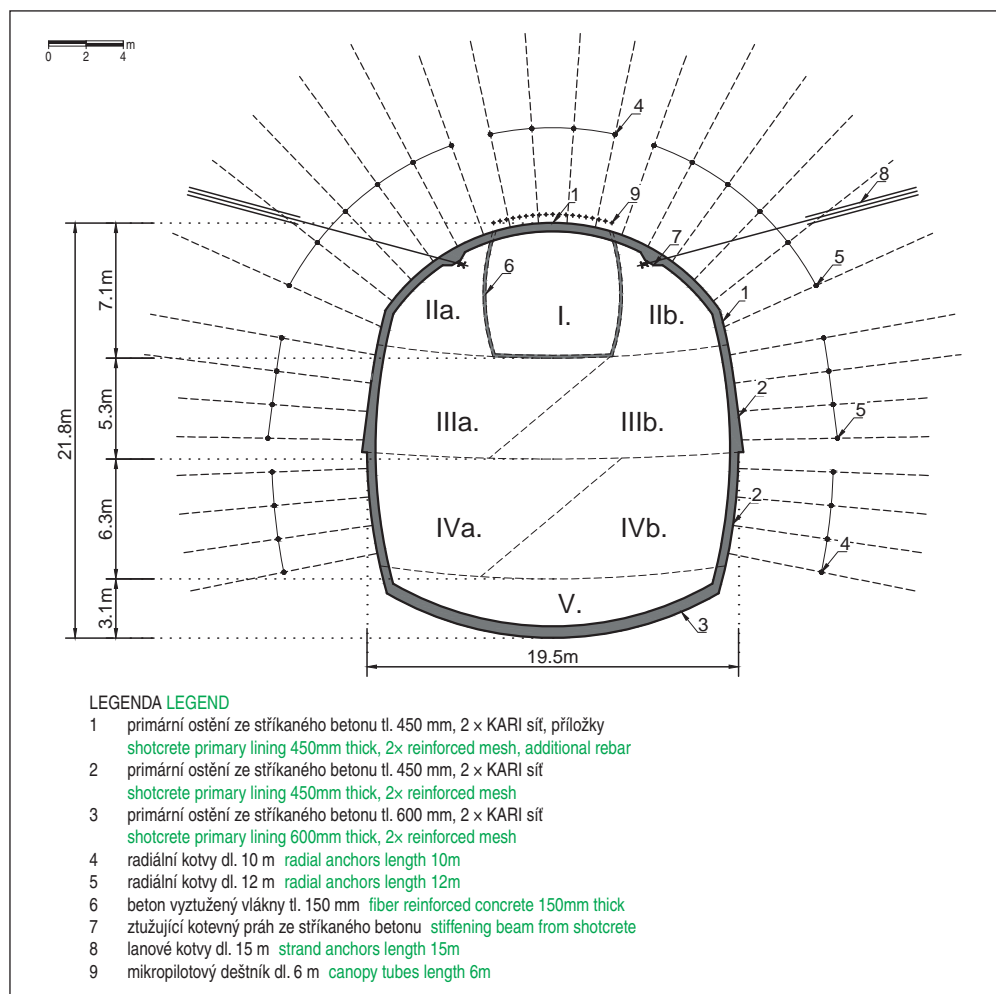
Only the following elements of reinforcement were included in the computation: primary lining shotcrete and partial parts of the excavation, spraying on the excavation face and radial anchors. For the reason of reducing the number of elements, no face bolts and spiling were taken into consideration in the computation.

The finite element mesh chosen for the computation was composed of general tetrahedrons forming four general triangles. For all volume elements, the network was



Obr. 3 Křížení s ETJ – geometrie a prvky vyztužení

Fig. 3 Crossing with the ETS – geometry and elements of excavation support



Obr. 4 Dóm – geometrie a prvky vystrojení

Fig. 4 Dome – geometry and elements of excavation support

Důležitým faktorem při tvorbě prostorového modelu byl čas, či už ve spojení se stárnutím betonu nebo při stanovení vhodné délky trvání jednoho výpočetního kroku. V případě kratších záběrů a složitějšího vyztužení kaloty v porovnání s delším záběrem a jednodušším vyztužením dna byla zvolena jednotná délka trvání výpočetního kroku na osm hodin. Stárnutí a změna tuhosti stříkaného betonu byla do výpočtu vnesena pomocí funkce závislosti změny modulu pružnosti stříkaného betonu na čase. Pro změnu pevnosti a modulu pružnosti stříkaného betonu během prvních 24 hodin byla zvolena modifikovaná křivka J2 (ČSN EN 14487-1:2006). Pro stříkaný beton starší než 24 hodin byl zohledněn průběh nárůstu pevnosti a modulu pružnosti podle vztahů Chang a Stille (1993).

Do výpočtu byly zahrnuty pouze tyto prvky vyztužení – stříkaný beton primárního ostění a dílčích částí výrubu, nástřik čelby a radiální kotvy. Z důvodu zjednodušení počtu prvků nebyly ve výpočtu uvažovány čelbové kotvy ani jehly.

Síť konečných prvků zvolená pro výpočet byla složena z obecných čtyřstěnnů, které tvoří čtyři obecné trojúhelníky. Pro všechny objemové prvky byla síť generována automaticky na základě podmínek přidělených hranám jednotlivých oblastí. Všechny skořepinové prvky (prvky ze stříkaného betonu) byly modelovány extrakcí sítě z objemových 3D prvků, z důvodu dosažení spolehlivého propojení. Extrahovaným skořepinovým prvkům byly následně přiřazeny odpovídající vlastnosti. Radiální kotvení bylo do výpočtu zahrnuto pomocí 1D prvků charakterizovaných svou délkou, průřezem a materiálovými vlastnostmi.

generated automatically based on the conditions assigned to the edges of the individual areas. In order to achieve a reliable connection, all shell elements (shotcrete elements) were modelled by extracting the mesh from volumetric 3D elements. The extracted shell elements were then assigned the corresponding properties. Radial anchoring was included in the computation using 1D elements characterised by their length, cross-section and material properties.

Crossing with escalator tunnel South

A total of three models were created for the area of the crossing with the ETS. They differed only in the design for the sequential excavation procedure (i.e. in the phasing of the partial headings). In all models, the designed distance between the excavation faces of the closed partial headings (side tunnels respectively middle excavation) is the same, namely 20m.

Two geometrically identical models were developed to monitor the appropriate timing of the distances between the partial headings. In the “Model – A” variant, driving of the partial headings in a shorter time interval was considered (2m

between the top heading and the bench and 2m between the bench and the invert), which took into account a more critical approach to the assessment of the lining from the point of view of the concrete age in the top heading and subsequently in the tunnel bench. This model was developed to monitor the behaviour of the massif and the lining in the case of excavation of partial sections of excavations with shorter distances between the faces. On the contrary, the “Model – B” assumed the excavation of the bench to be carried out only at the time when the concrete of primary lining reach sufficient strength of the tunnel top heading had been sufficient (the distance between the faces of the top heading and the bench was considered to be 8m). The invert of the tunnel was excavated with the same assumptions (distance of 6m between bench and invert). After comparing and assessing the models, “Model – B” was chosen as more advantageous due to the fluency of the construction work and the lower loading acting on the lining.

In the initial phase of the design, the excavation of the top heading gallery (0a) from the ETS towards the dome was assumed throughout its length, to be followed by excavation of two descending excavation steps (0b and 0c). The excavation of the station tunnel from the dome would continue further. This procedure was represented by “Model – A” and “Model – B”, however, during the course of the work on the project, the procedure was changed as described above in the Construction Technique chapter, which led to the development of another model. “Model – C” represented a

Křížení s eskalátorovým tunelem jih

Pro oblast křížení s ETJ byly vytvořeny celkem tři modely. Ty se lišily pouze v návrhu postupu sekvenční ražby (tj. ve fázování ražeb dílčích výrubů). Ve všech modelech je navržena vzdálenost mezi čelbami uzavřených dílčích výrubů (boční tunel, resp. střední výrub) shodná, a to 20 m.

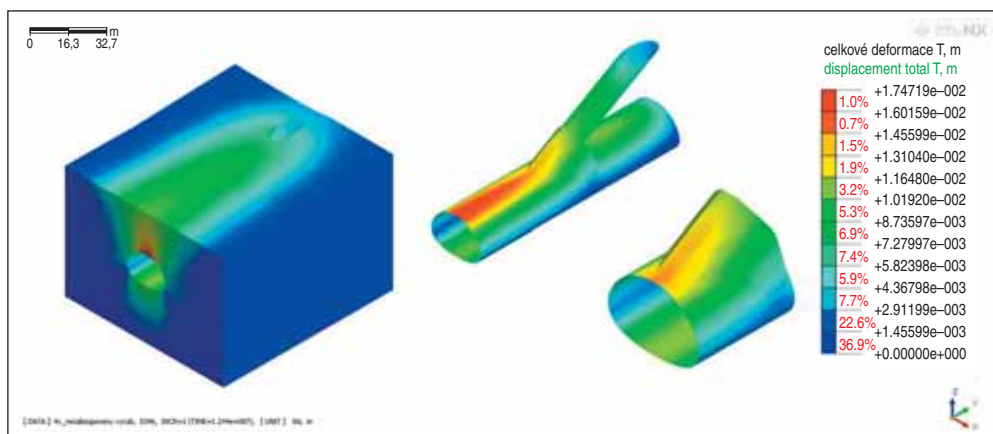
Na sledování vhodného načasování odstupu ražeb dílčích profilů byly vytvořeny dva geometricky totožné modely. Ve variantě „Model – A“ byla uvažována ražba dílčích částí výrubu v kratším časovém odstupu (2 m mezi kalotou a opěřím a 2 m mezi opěřím a dnem), čímž byl zohledněn kritičtější přístup k posouzení ostění z pohledu stáří betonu v kalotě a následně opěří tunelu. Tento model byl zhotoven z důvodu sledování chování masivu a ostění v případě ražby dílčích částí výrubů s kratším odstupem čelb. Naopak „Model – B“ předpokládal ražbu opěří až v době, kdy beton primárního ostění kaloty tunelu byl dostatečně vyzrálý (odstup čelb mezi kalotou a opěřím byl uvažován 8 m). Dále následovala se stejnými předpoklady ražba dna tunelu (odstup opěří a dna 6 m). Po porovnání a zhodnocení modelů byl jako výhodnější zvolen „Model – B“ z důvodu plynulosti stavebních prací a menšího zatížení ostění.

V prvotní fázi návrhu byla ražba stropní štol (0a) od ETJ směrem k dómu předpokládána v celé své délce a poté následovaly dva sestupné výrubu štol (0b a 0c). Dále by pokračovala ražba staničního tunelu z dómu. Tento postup reprezentoval „Model – A“ a „Model – B“, nicméně v průběhu projektu došlo ke změně postupu tak, jak bylo popsáno výše v kapitole technologie výstavby, což vedlo ke vzniku dalšího modelu. „Model – C“ reprezentoval nový postup ražeb a odstup dílčích čelb 8 m mezi kalotou a opěřím a následně 6 m mezi opěřím a dnem.

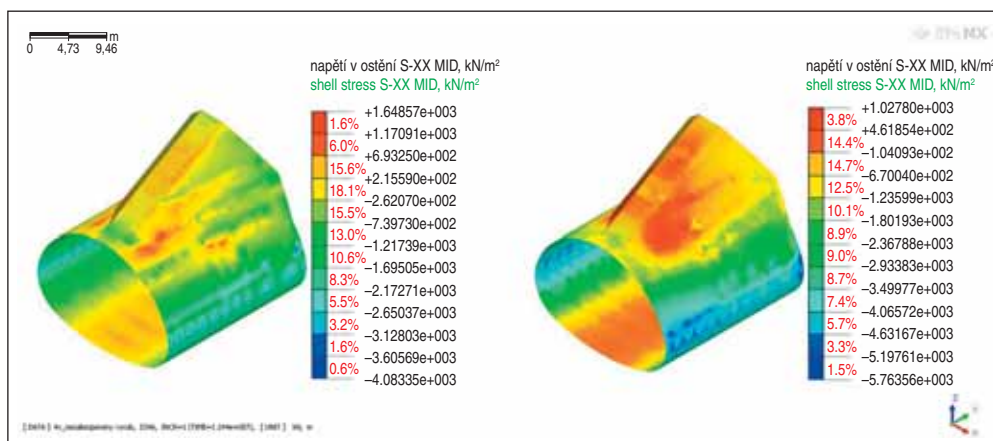
Ukázka výstupů z výpočetní analýzy křížení s eskalátorovým tunelem jih je zobrazena na obr. 5 až 7.

Dóm

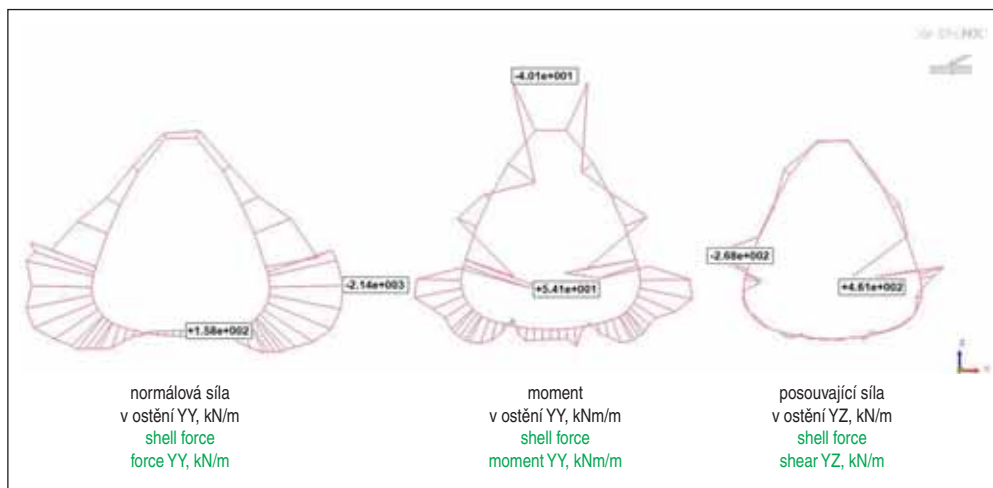
Jedním z milníků při tvorbě modelu pro dóm byl postup zhotovení kaloty. V místě rozrážky kaloty (1a) z výtahové šachty jsou



Obr. 5 Křížení s ETJ – celkové deformace
Fig. 5 Crossing with the ETS – total deformations



Obr. 6 Křížení s ETJ – napjatost primárního ostění
Fig. 6 Crossing with the ETS – state of stress in primary lining



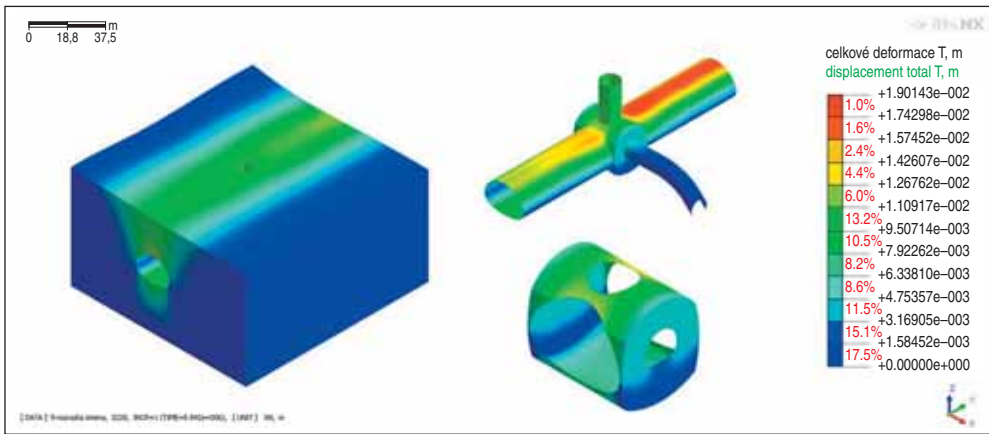
Obr. 7 Křížení s ETJ – vnitřní síly
Fig. 7 Crossing with ETS – internal forces

new excavation procedure and a distance between partial headings of 8m between the top heading and the bench and then 6m between the top bench and the invert.

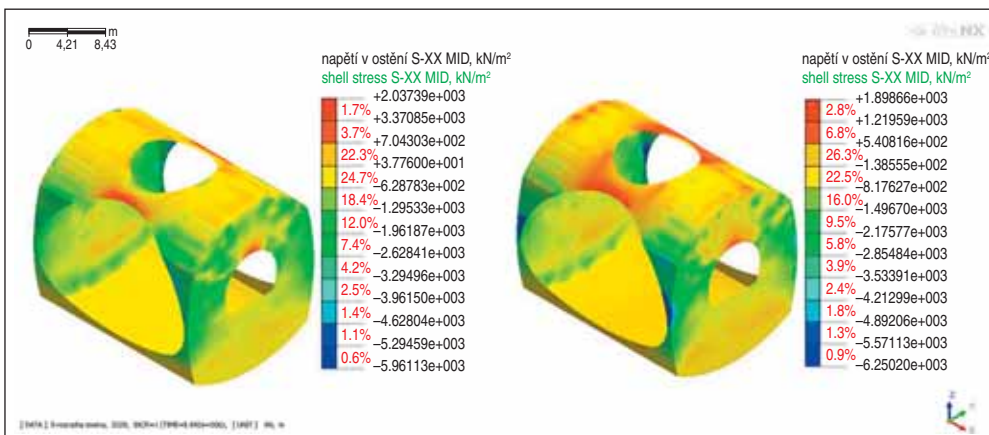
An example of the outputs from the computational analysis of the crossing with the escalator tunnel South is presented in Fig. 5 to 7.

Dome

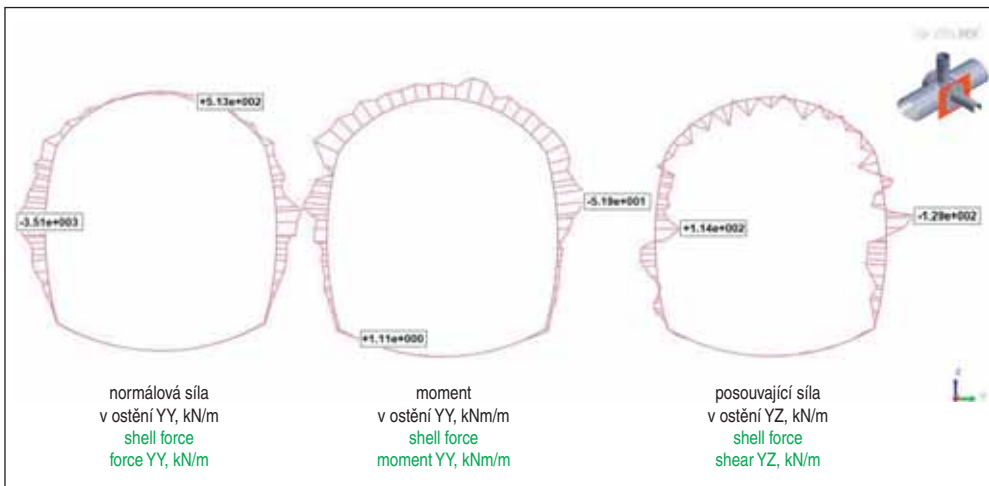
The process of carrying out the top heading was one of the milestones in the development of the dome model. In the place of the point-of-attack to the top heading (1a) from the lift shaft, the walls



Obr. 8 Dóm – celkové deformace
Fig. 8 Dome – total deformations



Obr. 9 Dóm – napjatost primárního ostění
Fig. 9 Dome – state of stress in primary lining



Obr. 10 Dóm – vnitřní síly
Fig. 10 Dome – internal forces

zajištěny stěny a dno výrubu (Ia) pomocí nástřiku z drátkobetonu. Dále následuje ražba boků kaloty (IIa, IIb), přičemž bylo předpokládáno, že stěny střední části (Ia) budou ubourány až po vyražení celé kaloty dómu. Tento přístup vnašel do výpočtu velmi vysokou koncentraci napětí v ostění kaloty v oblasti napojení dílčích výrubů. Na základě tohoto zjištění byl postup upraven tak, že předpokládá ubourání stěn střední části spolu s postupem ražby bočních kalot, což vede k redukci napětí v ostění kaloty dómu.

and the bottom of the excavation (Ia) are supported by fibre reinforced sprayed concrete. This is followed by the excavation of the top heading sides (IIa, IIb). It was assumed that the shotcrete sides of the central part (Ia) will be demolished only after the completion of the excavation of the entire top heading of the dome. This approach introduced into the computation very high concentration of stresses in the top heading lining in the area of the connection of the partial drifts. Based on this finding, the procedure was modified so that it assumed the demolition of the walls of the central part along with the progress of the excavation of the sidewall top drifts, which leads to a reduction in the stress in the lining of the dome top heading.

As described in the construction technique chapter, after the entire top heading (Ia, IIa, IIb) and parts of the dome bench (IIIa, IIIb) excavation is finished, the station nave excavation follows through tunnel stubs to both sides in a typical station profile. At the point of the connection of these structures, there was an increase in tensile stress in the area of the dome top heading, which could not be transferred only by the primary lining and radial anchors. Therefore, as an additional measure, stiffening beam together with strand anchors is proposed on both sides above the future excavation of the station tunnel.

An example of the outputs from the computational analysis of the dome is presented in Fig. 8 to 10.

CONCLUSION

The use of numerical modelling combines information and data from many sources that are currently available. The author of the model should accept certain assumptions, such as the interpretation of the geological conditions in the parti-

cular area and possible further simplifications, which should guarantee a reasonable agreement of the numerical model with the assumed reality.

This article also shows the predicted development of deformations of the resultant design of both described areas (see Fig. 11, 12). With respect to the current development of the new metro line I.D and its transition from the design phase to the construction phase, it will certainly be interesting and beneficial to compare the results of the computations with the real response of the massif behaviour.

Jak bylo popsáno v kapitole technologie výstavby po vyražení celé kaloty (Ia, IIa, IIb) a části opěří dómu (IIIa, IIIb), následuje rozražení staniční lodi do obou stran v typickém profilu stanice. V místě napojení těchto konstrukcí došlo v oblasti kaloty dómu ke zvýšení tahového namáhání, které nebylo možné přenést pouze primárním ostěním a radiálními kotvami. Proto je zde jako dodatečné opatření navržen kotevní práh spolu s lanovými kotvami při obou stranách nad budoucí ražbou staničního tunelu.

Ukázka výstupů z výpočetní analýzy dómu je zobrazena na obr. 8 až 10.

ZÁVĚR

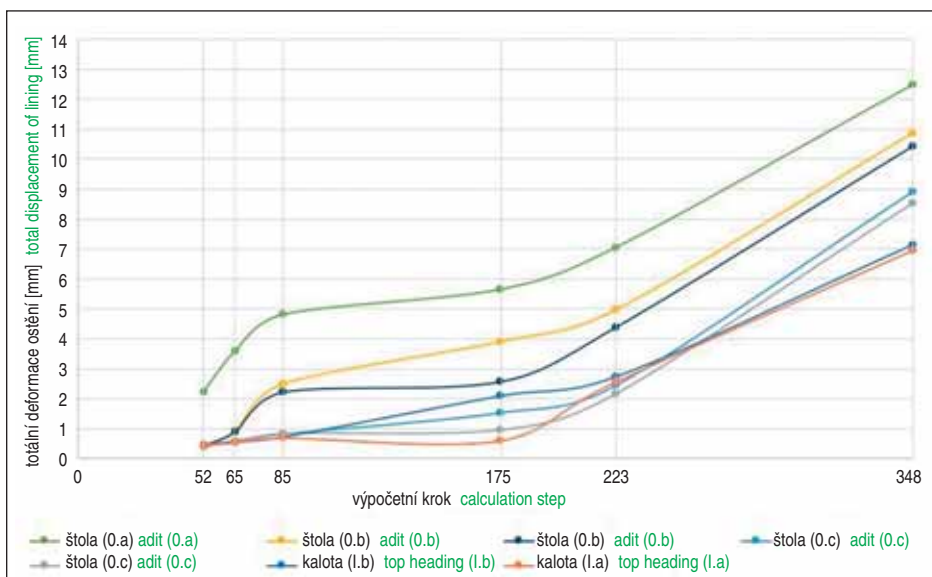
Využití numerického modelování v sobě slučuje informace a data z mnoha zdrojů, které jsou v daný okamžik k dispozici. Zhotovitel modelu by měl přijmout určité předpoklady, např. interpretace geologických podmínek dané oblasti a případná další zjednodušení, která by měla zaručit přiměřenou shodu numerického modelu s předpokládanou skutečností.

V tomto článku je rovněž ukázán predikovaný (obr. 11, 12) vývoj deformací výsledného návrhu obou popisovaných oblastí. Vzhledem k současnému vývoji na projektu nové trasy I.D a jeho přechodu z projektové fáze do fáze realizace bude jistě zajímavé a prospěšné porovnání výsledků výpočtů s reálnou odezvou chování masivu.

Ing. KATARÍNA SOBOLOVÁ,
katarina.sobolova@mottmac.com,
Ing. VĚROSLAV HRUBÝ, Ph.D.,
veroslav.hruby@mottmac.com,
Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.

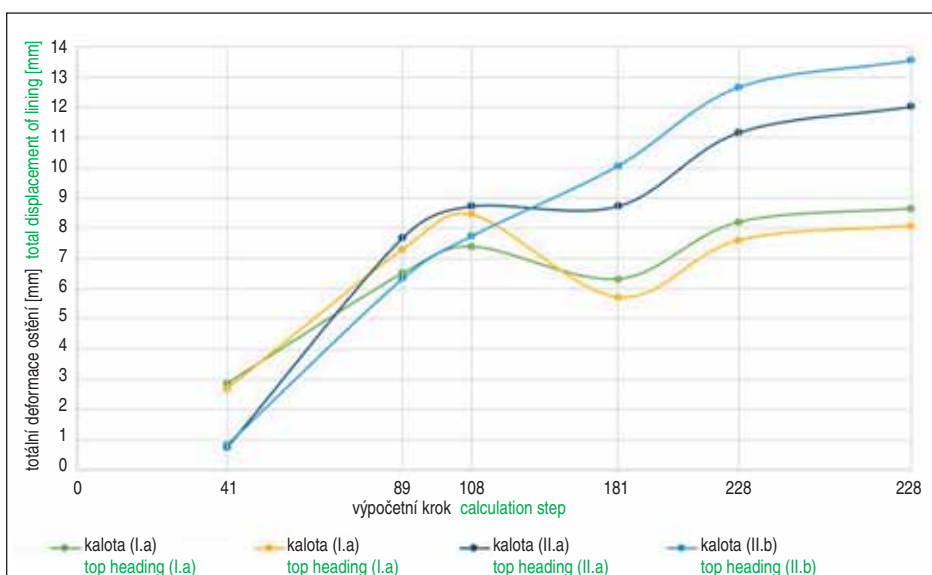
Recenzoval **Reviewed:**

prof. Ing. Matouš Hilar, MSc., Ph.D., CEng., MICE



Obr. 11 Křížení s ETJ – změna deformací v průběhu výstavby

Fig. 11 Crossing with the ETS – changes in deformations during construction



Obr. 12 Dóm – změna deformací v průběhu výstavby

Fig. 12 Dome – changes in deformations during construction

Ing. KATARÍNA SOBOLOVÁ,
katarina.sobolova@mottmac.com,
Ing. VĚROSLAV HRUBÝ, Ph.D.,
veroslav.hruby@mottmac.com,
Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] SOD 19 Stanice Nové Dvory – dokumentace PDPS. Praha: Mott MacDonald CZ, spol. s r.o., 2020
- [2] MAKÁSEK, P., VEVERKA, A., HNILIČKA, M. Stanice Nové Dvory na nové lince I.D pražského metra. *Tunel*, 2022, č. 1, v tisku
- [3] ČSN EN 1990. Eurokód 0: Zásady navrhování konstrukcí
- [4] ČSN EN 1991-1-1. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí, Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [5] ČSN EN 1992-1-1. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí, Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [6] ČSN EN 1997-1. Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí, Část 1: Obecná pravidla
- [7] ČSN EN 1997-2. Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí, Část 2: Průzkum a zkoušení základové půdy
- [8] CHANG, Y., STILLE, H. Influence of early-age properties of shotcrete on tunnel construction sequences. *Shotcrete for Underground Support*, 1993, č. VI., s. 110–117
- [9] ČSN 73 7501:1993. Navrhování konstrukcí ražených podzemních objektů
- [10] ČSN 73 7503:1997. Projektování a stavba tunelů městských drah

NÁVRH HOSÍNSKÉHO A CHOTÝČANSKÉHO TUNELU S DŮRAZEM NA BEZPEČNOSTNÍ ŘEŠENÍ

DESIGN OF HOSÍN AND CHOTÝČANY TUNNEL WITH EMPHASIS ON SAFETY SOLUTIONS

MICHAL HNILIČKA, PETR KUČERA

ABSTRAKT

Článek se zabývá popisem základního technického řešení Hosínského a Chotýčanského tunelu na modernizovaném úseku Nemanice I – Ševětín IV. železničního koridoru mezi Prahou a Českými Budějovicemi. Cílem článku je poukázat na bezpečnostní řešení obou tunelů, zejména ve vztahu k úniku cestujících při vzniku mimořádné události v tunelu (srážka vozidel, požár, výbuch, závažná technická porucha aj.). Druhá část článku je věnována využití matematických modelů k prognóze dynamiky požáru v prostorách tunelu a simulaci průběhu evakuace osob.

ABSTRACT

The article deals with the description of the basic technical solution of the Hosín and Chotýčany tunnels on the modernized section Nemanice I – Ševětín IV. railway corridor between Prague and České Budějovice. The aim of the article is to point out the safety solution of both tunnels, especially in relation to the evacuation of passengers in the event of an emergency in the tunnel (vehicle collision, fire, explosion, serious technical failure, etc.). The second part of the article is devoted to the use of mathematical models to predict the dynamics of fire in the tunnel and to simulate the evacuation of people.

ÚVOD

Úsek Nemanice I – Ševětín je poslední částí modernizace IV. železničního koridoru mezi Prahou a Českými Budějovicemi (obr. 1). Délka úseku je zhruba 17 km, a kromě mnoha dalších objektů obsahuje dvě významné tunelové stavby: Chotýčanský tunel délky 4806 m a Hosínský tunel délky 3120 m. Pro tento úsek byla v roce 2011 zpracována dokumentace pro územní řízení a po dlouhém procesu zahrnujícím odvolání i soudní spory se v roce 2019 konečně podařilo získat územní rozhodnutí. Dokumentace pro stavební povolení (DSP) vznikala tedy po 10 letech od zpracování dokumentace pro územní rozhodnutí (DŮR) a byla odevzdána na konci roku 2021, takže v době psaní článku ještě probíhaly intenzivní projektové práce.

KONCEPCE ŘEŠENÍ DŮR

V rámci projektu DŮR byla zpracována studie, která porovnávala několik variant obou tunelů. Studie se především zabývala řešením tunelu porovnáním dvojice jednokolejných tunelů a jednoho tunelu dvoukolejného. Dále řešila koncepci únikových cest a srovnávala varianty vertikálních úniků pomocí šachet s horizontální únikovou cestou pomocí paralelní štol a kombinace těchto variant. Z tohoto porovnání vyšel jako investičně nejvýhodnější návrh obou sousedních tunelů v jednotném dvoukolejném provedení ale s odlišným řešením únikových cest. Chotýčanský tunel je navržen se čtyřmi vertikálními únikovými cestami pomocí únikových šachet. Oproti tomu Hosínský tunel má únikové cesty řešeny paralelními únikovými štolami (severní a jižní), které nejsou ve střední části tunelu vzájemně propojeny.

V rámci zpracování dokumentace DSP se projektant snažil reagovat na vývoj v tunelovém stavitelství a nově navrhoval použití v ČR již prověřené ražby pomocí tunelovacího stroje. Dalším bodem bylo zjednodušení údržby tunelů změnou koncepce obou tunelových staveb z dvoukolejných tunelů vždy na dva jednokolejné tunely. Toto řešení by přineslo také sjednocení řešení únikových

INTRODUCTION

The section Nemanice I – Ševětín is the last part of the IV. railway corridor modernization between Prague and České Budějovice (Fig. 1). The length of the section is about 17km, and in addition to many other structures it contains two important tunnel constructions: Chotýčany tunnel 4806m and Hosín tunnel 3120m long. The documentation for the zoning procedure was prepared for this section in 2011, and after a long process involving appeals and litigation, in 2019 a zoning decision was finally obtained. The building permit documentation (DSP) was therefore created 10 years after the elaboration of the documentation for the zoning decision (DŮR) and was submitted at the end of 2021, so that at the time of writing the article, intensive project work was still in progress.

SOLUTION CONCEPT OF ZONING DECISION DOCUMENTATION

As part of the DŮR project, a study was prepared that compared several variants of both tunnels. The study mainly dealt with a variant tunnel solution by comparing a pair of single-track tunnels and one double-track tunnel. It also solved the concept of escape routes and compared the variants of vertical escape routes using shafts with the horizontal escape route using parallel galleries and combinations of these variants. This comparison resulted in the most investment-friendly design of both neighboring tunnels in a unified double-track design, but with a different solution of escape routes. The Chotýčany tunnel is designed with four vertical escape routes using escape shafts. In contrast, the Hosín tunnel has escape routes solved by parallel escape galleries (northern and southern), which are not interconnected in the central part of the tunnel.

As part of the processing of DSP, the designer tried to respond to developments in tunnel construction and newly proposed to use tunneling machines, which have already been tested in our country. Another point was the simplification of tunnel maintenance by

cest obou tunelů, stejně tak jako návrh na změnu koncepce úniků u Chotýčanského tunelu na paralelní únikovou štolu a propojení obou větví únikových štol Hosínského tunelu. Všechny tyto návrhy bohužel narazily na problematiku zajištění souladu dokumentace DSP s platným územním rozhodnutím. Z toho vycházel logický požadavek všech zúčastněných na minimalizaci změn oproti původnímu řešení DÚR [1].

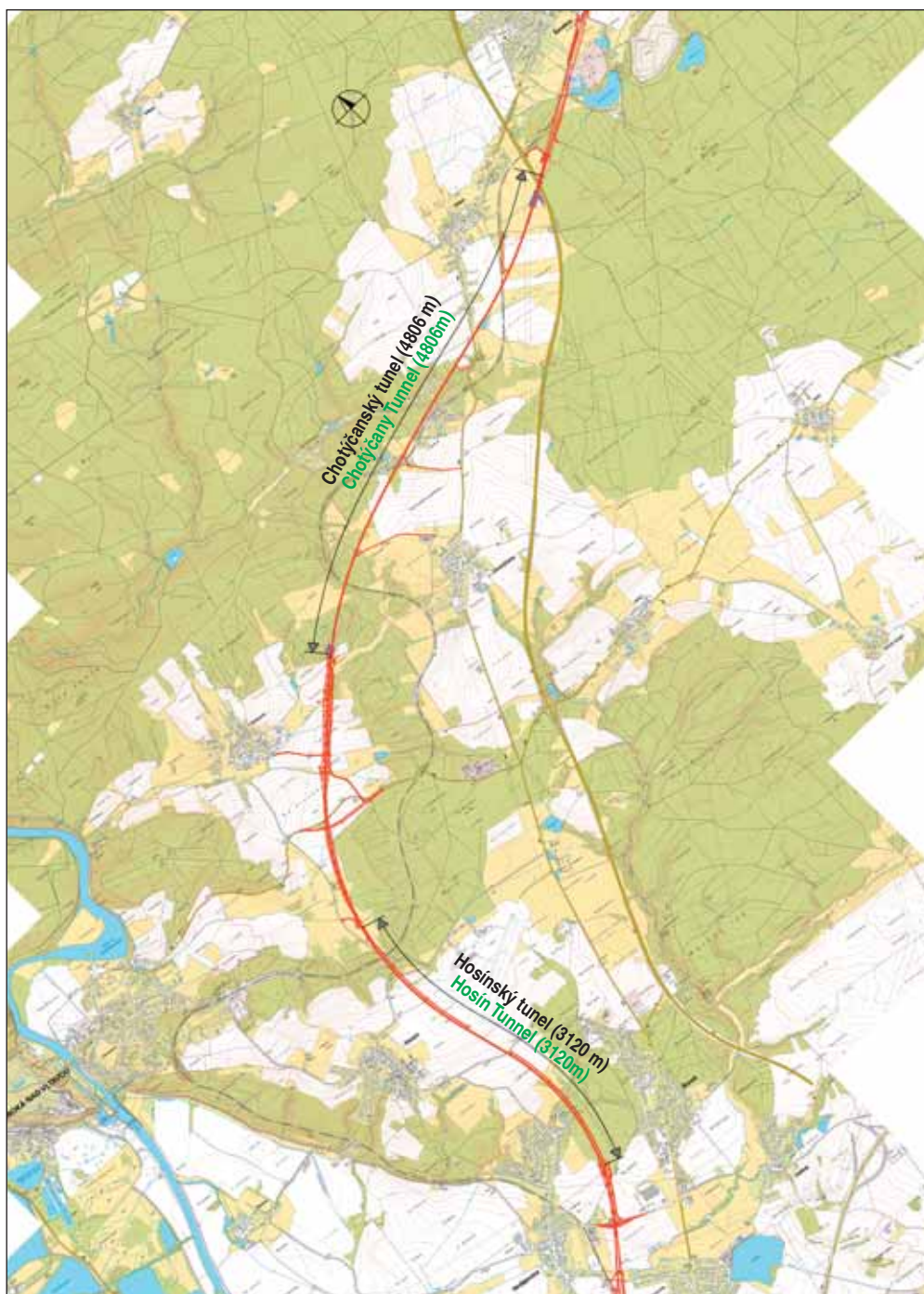
TECHNICKÉ ŘEŠENÍ DSP

Traťové tunely jsou navrženy jako dvoukolejné s osovou vzdáleností kolejí 4,2 m pro návrhovou rychlost 200 km/hod s pevnou jízdni dráhou. Trasa v obou tunelových stavbách je navržena vždy ve dvou protisměrných obloucích s přechodnicemi a mezilehlými přímými úseky. Výškově jsou obě tunelová díla navržena ve stoupání ve směru staničení (od Českých Budějovic).

Průjezdny průřez tunelů

Obě tunelové stavby jsou navrženy s jednotným vnitřním profilem, který vychází ze vzorového listu dvoukolejného tunelu pro rychlosti od 161 do 230 km/h, pevnou jízdni dráhu a převýšení od 0 do 160 mm [2]. Vnitřní rozměry jsou dány klenbou tunelového ostění, která se skládá z oblouků o vnitřním poloměru 6,2 a 5,8 m, světlá výška tunelu je 7,75 m nad TK (temenem kolejnice) a světlá šířka v nejširším bodě je 12,21 m. Tento profil je navržen tak, že osa tunelu odpovídá ose os kolejí (nedochází zde k odsazení osy tunelu) a v podélném směru se příčný profil tunelu nepřeklápí, dochází pouze ke změně tvaru pevné jízdni dráhy v závislosti na převýšení kolejí bez změny vnitřního uspořádání tunelu (chodníky a jejich výška).

V průběhu koordinace se zpracovateli technologických souborů musely být oproti řešení ze vzorového listu výrazně rozšířeny chodníky, protože do kabelových tras pod chodníkem je nutné uložit vedení pro sdělovací a zabezpečovací techniku, řízení a monitoring tunelu, což zahrnuje nejen slaboproudá vedení, ale také optické kabely s velkým minimálním poloměrem ohybu, dále suchovod a především silnoproudé kabely 6 kV pro napájení tunelové technologie a 25 kV pro trakční vedení. Silnoproudá kabelová vedení musejí být navíc od slaboproudých oddělena betonovou stěnou tloušťky minimálně 300 mm z důvodu zabránění rušení. Výsledkem je rozšíření obou chodníků na šířku 1975 mm na úkor prostoru pro pevnou jízdni dráhu, který má výslednou šířku 7670 mm. Tento prostor je však dostatečný pro parametry v ČR dosud použitých systémů pevné jízdni dráhy (obr. 2).



Obr. 1 Situace tunelů
Fig. 1 Tunnel situation

changing the concept of both tunnel constructions from double-track tunnels to two single-track tunnels. This solution would also bring unification of the solution of escape routes of both tunnels, as well as a proposal to change the concept of escape routes at the Chotýčany tunnel to a parallel escape gallery and to connect both branches of the escape tunnels of the Hosín tunnel. Unfortunately, all these proposals encountered the issue of ensuring compliance of the DSP documentation with the valid zoning decision. This was the basis of the logical requirement of all participants to minimize changes compared to the original DÚR solution [1].

TECHNICAL SOLUTION FOR DSP

The line tunnels are designed as double-track with a track center distance of 4.2m for a design speed of 200km/h with a ballastless track. The route in both tunnel structures is always designed in two

Záchranné výklenky

Standardním prvkem železničních tunelů jsou záchranné výklenky umísťované vždy ve dvojicích vstřícně na obou stranách tunelové trouby ve vzájemných vzdálenostech maximálně 25 m. Tyto výklenky slouží jako záchranný prostor pro pracovníky pohybující se v tunelu během jeho údržby při průjezdu vlaku. Vzhledem k tomu, že předpisy správce tunelu neumožňují provádění údržby při rychlostech 200 km/h (jedná se o vysoce rizikovou činnost), údržba bude prováděna vždy za určitého typu výluky provozu v tunelu (jednokolejná, nickolejná, omezení rychlosti průjezdu na max. 60 km/h). V kombinaci s šířkou volného prostoru na chodnicích byly v tunelech Hosínský a Chotýčanský tyto záchranné výklenky na základě projednání s investorem vypuštěny. Toto rozhodnutí přinese výrazné zjednodušení realizace díla, a tím zároveň úsporu investičních nákladů. Výklenky jsou v tunelech přesto částečně zachovány, a to vzhledem k nutnosti umístění šachet pro čištění drenáže, které jsou rozmístěny ve výklencích ve vzájemných vzdálenostech maximálně 48 m. Tyto výklenky pro šachty čištění drenáže budou po dohodě s investorem provedeny v šířce 2000 mm (rozměr záchranného výklenku podle normy) [3].

Sekundární ostění a izolace

Sekundární ostění tratových tunelů je navrženo z vyztuženého monolitického železobetonu o minimální tloušťce 450 mm. Standardní délka betonového bloku je 12 m, profil tunelu je podle zastižených geologických podmínek navržen jak na základových betonových pasech, tak se spodní klenbou. Obě tunelová díla jsou opatřena deštníkovým systémem izolace doplněným bočními drenážemi, které jsou osazeny čistícími šachtami a příčnými svody napojenými do středové stoky tunelu.

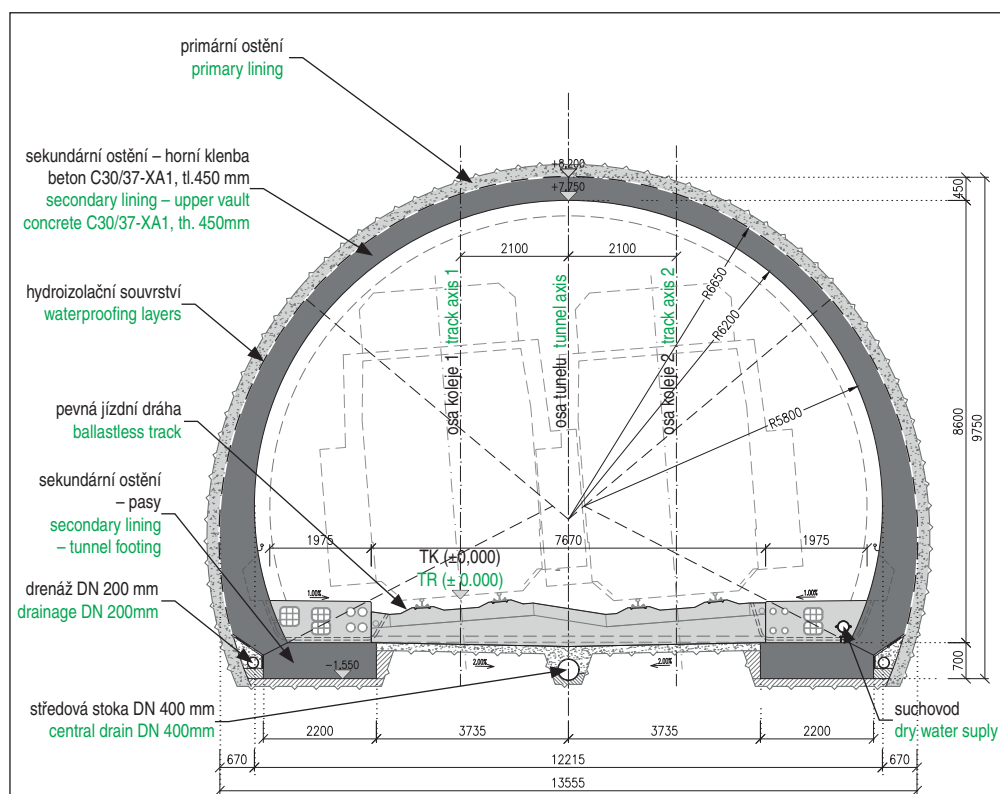
Část ražené části Chotýčanského tunelu poblíž vjezdového portálu se nachází v navětralých až plně zvětralých rulách, takže je navržena s celopláštovou uzavřenou izolací pro omezení trvalého drenážního účinku tunelu.

opposite curves with transitions and intermediate straight sections. In terms of vertical alignment, both tunnels are designed in the ascent in the direction of the stationing (from České Budějovice).

Clearance cross-section of tunnels

Both tunnel constructions are designed with a unified internal profile, which is based on a standard specification of a double-track tunnel for speeds from 161 to 230km/h, a ballastless track and a superelevation from 0 to 160mm [2]. The inner dimensions are given by the vault of the tunnel lining, which consists of arches with an inner radius of 6.2 and 5.8m, the clear height of the tunnel is 7.75m above the TR (top of the rail) and the clear width at the widest point is 12.21m. This profile is designed so that the axis of the tunnel corresponds to the axis of the track axes (there is no offset of the tunnel axis) and in the longitudinal direction the transverse profile of the tunnel does not tilt, only the shape of the ballastless track changes depending on the superelevation of the rails without changing the internal arrangement of the tunnel (sidewalks and their height).

During the coordination with the practitioners of the technological units, the sidewalks had to be significantly widened compared to the solution from the standard specification, because it was necessary to store lines for communication and safety technology, tunnel control and monitoring in cable ducts under the sidewalk, which included not only low-current lines but also optical cables with large minimum bending radius, as well as dry water supply and especially heavy-current cables 6kV for powering tunnel technology and 25kV for traction lines. In addition, heavy-current cable lines must be separated from weak-current cables by a concrete wall at least 300mm thick to prevent interference. The result is the expansion of both sidewalks to a width of 1975mm at the expense of space for a ballastless track, which has a final width of 7670mm. However, this space is sufficient for the parameters of the ballastless track systems used so far in the Czech Republic (Fig. 2).



Obr. 2 Příčný řez tunelu
Fig. 2 Tunnel cross section

Rescue niches

The standard elements of railway tunnels are rescue niches, always placed in pairs on both sides of the tunnel tube at mutual distances of a maximum of 25m. These niches serve as a rescue space for workers present in the tunnel during its maintenance during the train passage. Due to the fact that the tunnel service administration regulations do not allow maintenance to be performed at speeds of 200km/h (this is a high-risk activity), maintenance will always be performed during a certain type of traffic closure in the tunnel (single-track, zero-track, speed limit to max. 60km/h). In combination with the width of the free space on the sidewalks, these rescue niches were eliminated in the Hosín and Chotýčany tunnels based on discussions with the investor. This decision will significantly simplify the implementation of the construction, and thus save investment costs. However, the niches

HOSÍNSKÝ TUNEL

Hosínský tunel má celkovou délku 3120 m. Z toho je hloubený tunel u vjezdového portálu dlouhý 144 m, ražený tunel 2808 m a hloubený tunel u výjezdového portálu 168 m.

Geologické podmínky a ražba

Tunel prochází metamorfovanými horninami jednotvárné série moldanubika proterozoického stáří. Převládajícím typem hornin jsou částečně migmatizované, biotitické a sillimanit-biotitické pararuly až migmatity, které nepravidelně obsahují vločky ortorul a aplitů. Pararuly jsou šedé, jemnozrné, bíle páskované, s proměnlivým sklonem foliace převážně cca 30° až 50° směrem k SV až V. Horniny jsou proměnlivě prokřemenělé. Ortoruly jsou šedé až bělavé, místy narůžovělé, středně až hrubě zrnité, silně prokřemenělé. Horniny jsou velmi pevné a křehké. Intenzita rozpukání a stupeň zvětření je menší než u pararul.

Směrem od vjezdového portálu až do jedné třetiny tunelu jsou tyto horniny překryty subhorizontálně uloženými křídovými sedimenty. Jedná se převážně o kaolinické pískovce a pestré prachovce a jílovce. Pískovce jsou převážně bělošedé až narůžovělé, hrubozrné až drobně šterčíkovité, křemité, s nedokonale opracovanými zrnky. Jejich tmel (výplň) je převážně kaolinický. Jílovce jsou pestré (bělavé, šedé, cihlově červené, zelenkavé), velmi tenké vrstevnaté, celistvé, pouze ojediněle s kostkovitým rozpadem. Ověřená mocnost křídových hornin v trase tunelu je u jižního vjezdového portálu až 22,0 m. Ve směru staničení mocnost poměrně výrazně klesá a sedimenty postupně vyklíňují směrem k povrchu.

V úseku hloubeného tunelu u výjezdového portálu jsou metamorfované horniny proterozoika překryty terciárními zeminami, které jsou zastoupeny sedimenty spodní části mydlovarského souvrství neogenního stáří. Jedná se o subhorizontálně uložené a nezápevně zeminy, převážně jílovité s podružnými vložkami zemin písčitých či šterkovitých. Převažují rezavě hnědé, šedé a zelenkavé jílovité zeminy, ojediněle s příměsí písku.

V rámci ražeb jsou navrženy technologické třídy výrubu horizontálního členění výrubu od TTV 2, 3 a 4 pro prostředí navětralých až zdravých pararul a ortorul, a technologické třídy 5a, 5b do silně až zcela zvětřalých pararul.

Bezpečnostní řešení

Únik osob a přístup záchranných složek do tunelu je u Hosínského tunelu v souladu s DÚR řešen dvěma samostatnými paralelními štolami. Jižní štola má délku 1364 m a severní délku 1347 m a obě vždy vyúsťují vedle příslušného portálu tunelové trouby. Štoly jsou propojeny s traťovým tunelem celkem šesti tunelovými propojkami ve vzájemných vzdálenostech 432 až 456 m, do kterých jsou stejně jako u Chotýčanského tunelu umístěny technologické místnosti (sdělovací místnost, slaboproudá rozvodna a v propojce č. 2 a 5 také trafostanice).

Příčný profil únikových štol byl oproti DÚR navýšen, aby umožnil vjezd současně techniky IZS (průjezdový profil 3,5 × 3,5 m pro standardní vozidla HZS) při zachování průchozího prostoru min. 1,0 × 2,25 m pro únik osob mimo tento průjezdový profil. Vzhledem k tomu, že nejsou štoly mezi sebou propojeny, byly ve štolách v místě propojek navrženy výhybny umožňující vyhnoutí dvou protijedoucích vozidel a na konci štol (propojky č. 3 a 4) umožňuje koncepční řešení otočení vozidla IZS (točna ve tvaru „T“).

Na portálech tunelu jsou navrženy záchranné a nástupní plochy IZS o velikosti 500 m² v souladu s evropským předpisem TSI [4, 5].

Větrání únikových cest a přilehlých technologických místností je řešeno pomocí ventilátorů umístěných vždy v blízkosti portálu každé štoly. Protože portál tunelu a únikové štoly ústí vždy do jedné

are partially preserved in the tunnels, due to the need to place drainage shafts, which are located in the recesses at a maximum distance of 48m. These niches for drainage cleaning shafts will be made in a width of 2000mm (size of the rescue niche according to the standard [3]) in agreement with the investor.

Secondary lining and waterproofing

The secondary lining of the line tunnels is designed from reinforced monolithic concrete with a minimum thickness of 450mm. The standard length of the concrete block is 12m, the tunnel profile is designed according to the encountered geological conditions on the foundation concrete strips and with the invert vault. Both tunnel works are equipped with an umbrella waterproofing system supplemented by side drainages, which are equipped with cleaning shafts and transverse drains connected to the central drainage of the tunnel.

Part of the excavated Chotýčany tunnel near the entrance portal is located in weathered to fully weathered gneisses, so it is designed with all-round closed waterproofing to limit the permanent drainage effect of the tunnel.

HOSÍN TUNNEL

The Hosín tunnel has a total length of 3120m. Of this, the cut and cover tunnel at the entrance portal is 144m long, the underground excavated tunnel 2808m and the cut and cover tunnel at the exit portal 168m.

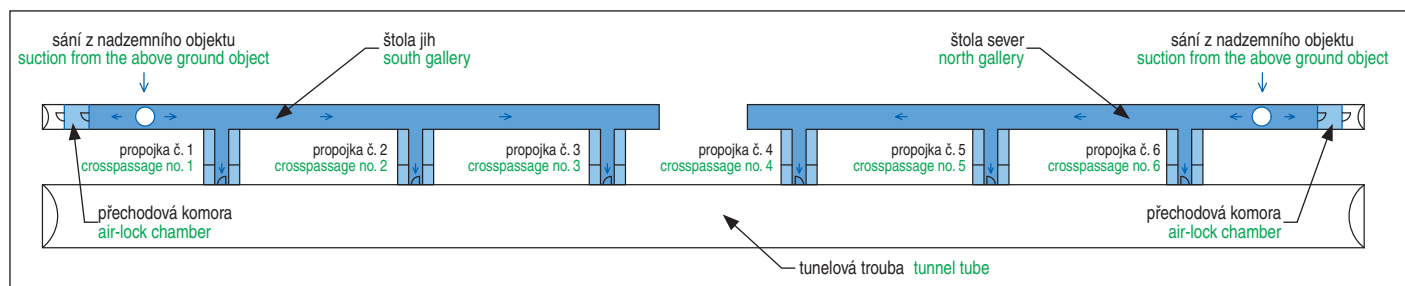
Geological conditions and excavation

The tunnel passes through metamorphic rocks of the monotonous Moldanubian series of Proterozoic age. The predominant rock types are partially migmatized, biotite and sillimanite-biotite paragneis to migmatites, which irregularly contain orthogneis and aplite inserts. The paragneis is gray, fine-grained, white banded, with a variable slope of foliation, mostly about 30 to 50° towards NE to E. The rocks are variably quartzitized. Orthogneis is gray to whitish, sometimes pinkish, medium to coarse-grained, strongly calcified. The rocks are very strong and brittle. The intensity of cracking and the degree of weathering is lower than in paragneis.

In the direction from the entrance portal to one third of the tunnel, these rocks are covered by sub-horizontally deposited Cretaceous sediments. These are mainly kaolin sandstones and variegated siltstones and claystones. Sandstones are mostly white-gray to pinkish, coarse-grained to slightly gravelly, siliceous, with imperfectly worked grains. Their cementation (fill) is mostly kaolinic. Claystones are variegated (whitish, gray, brick red, greenish), very thinly layered, solid, only rarely with a cube-like decay. The verified thickness of the Cretaceous rocks in the tunnel route is up to 22.0m at the southern entrance portal. In the direction of the stationing, the thickness decreases quite significantly and the sediments gradually vanish towards the surface.

In the section of the cut and cover tunnel at the exit portal, the metamorphic Proterozoic rocks are covered with Tertiary soils, which are represented by sediments of the lower part of the Mydlovar Formation of Neogene age. These are subhorizontally deposited and unconsolidated soils, mostly clayey with secondary inserts of sandy or gravelly soils. Rusty brown, gray and greenish clayey soils predominate, occasionally with an admixture of sand.

For the excavations, technological classes of heading and benching excavation are designed, from TTV 2, 3 and 4 for the environment of slightly weathered to fresh paragneis and orthogneis, and technological classes 5a, 5b in heavily to completely weathered pararules.



Obr. 3 Schéma větrání únikových cest Hosínského tunelu
Fig. 3 Scheme of ventilation of escape routes of the Hosín tunnel

portálové oblasti, která se navíc nachází v obou případech v zářezu, hrozilo by zde v případě zakouření nasátí znečištěného vzduchu do únikové cesty. Z tohoto důvodu byly v rámci DSP pro účely požárního větrání obě štolu doplněny objekty osazenými na terenu, které slouží pro sání čerstvého vzduchu mimo portálové oblasti tunelu (obr. 3). Pata nasávacího objektu navazuje na strop únikové štolu, která je zde nadvýšena pro umístění ventilátorů. Ventilátory jsou navrženy vždy dva a zajišťují „natlakování“ celé únikové cesty (příslušné štolu a všech tří navazujících propojek) zabráňující v případě požáru vniknutí kouře z tunelové trouby. Přetlaková komora je pak vytvořena zdvojením vstupních dveří a příček v portálu únikové štolu.

CHOTÝČANSKÝ TUNEL

Chotýčanský tunel má celkovou délku 4806 m. Z toho hloubený tunel u vjezdového portálu je dlouhý 60 m, ražený tunel 4464 m a hloubený tunel u výjezdového portálu 282 m.

Geologické podmínky a ražba

Trasa tunelu prochází metamorfovanými horninami moldanubika a hlubinnými vyvřelými horninami ševětínského granodioritu. Při výjezdovém portálu mohou být v hloubené části tunelu zastíženy i svrchnokřídové sedimenty – horniny klikovského souvrství. Silné tektonické porušení horninového masivu se značným hloubkovým dosahem zvětrání velmi nepříznivě ovlivňuje budoucí realizaci v prvním kilometru tunelu, vázaném na pararulový horninový masiv. Hloubkový dosah zvětrání dosahuje v blízkosti tektonických poruch až 40 m a lokálně zasahuje až do úrovně projektovaného tunelu. V magmatických horninách ševětínského granodioritu jsou podmínky ražby příznivější, nicméně směrem k výjezdovému portálu hluboké zvětralinové zóny rovněž zasahují do úrovně tunelu, v portálové oblasti pak i hluboko pod jeho počvu.

V rámci ražeb je vzhledem k poměrně pestrým geologickým podmínkám navrženo široké portfolio horizontálně členěných technologických tříd výrubu od TTV 2, 3 a 4 pro horninové prostřední rul a granodioritů, po technologické třídy 5a, 5b a 5c pro silně až zcela zvětralé horniny a třídu 6, která předpokládá plně předstihové vytryskání profilu raženého tunelu v nejhorších geologických podmínkách. Maximální plocha čelby raženého tunelu v TTV 5c je 159,8 m² při šířce výrubu 15,44 m a výšce 13,13 m.

Bezpečnostní řešení

Pro únik osob z tunelu při mimořádné události jsou v souladu s řešením DÚR navrženy čtyři únikové cesty, které jsou na tunel napojeny ve vzájemných vzdálenostech od 924 do 996 m. Úniková cesta prochází chodbou v technologické komoře, kde jsou po obou stranách soustředěny technologické místnosti (2× trafostanice, místnost pro sdělovací zařízení a slaboproudá rozvodna), dále propojovací chodbou a následně na povrch ústící šachtou. Jednotlivé šachty mají hloubky 77 m, 44 m, 27 m a 26 m, jejich umístění na

Safety solutions

Evacuation of persons and access of rescue services to the tunnel is solved in the Hosín tunnel in accordance with the DÚR by two separate parallel galleries. The south gallery has a length of 1364m and the north length 1347m, and both always exit next to the relevant portal of the tunnel tube. The galleries are connected to the line tunnel by a total of six tunnel crosspassages at mutual distances of 432 to 456m, into which, as in the Chotýčany tunnel, tunnel technological rooms are located (communication room, low-voltage substation and in crosspassages 2 and 5 also transformer stations).

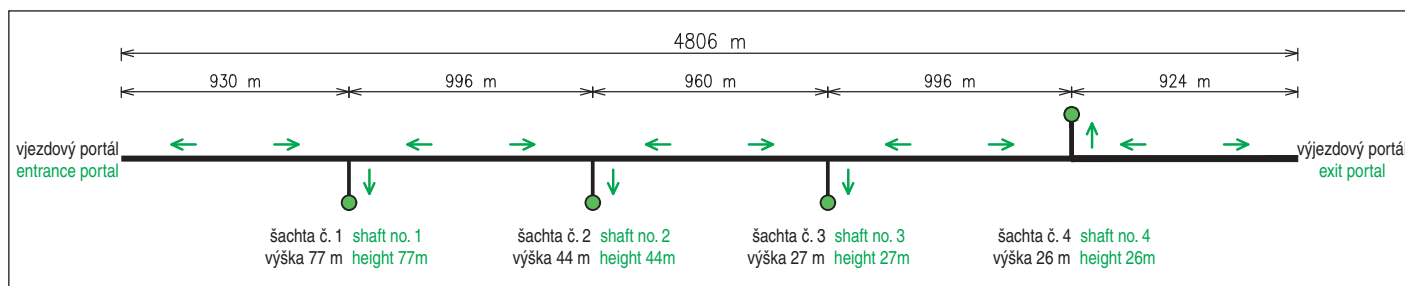
The transverse profile of escape galleries was increased compared to DÚR to allow the entry of current IRS (Integrated Rescue System) technology (clearance profile 3.5 × 3.5m for standard firefighting vehicles) while maintaining a walking clearance space of min. 1.0 × 2.25m for escape of persons outside this clearance profile. Due to the fact that the galleries are not interconnected, emergency bays were designed in the galleries in the location of crosspassages to allow the passage of two oncoming vehicles and at the end of the galleries (crosspassages no. 3 and 4) a conceptual solution allows turning the IRS vehicle (T shape turn).

At the portals of the tunnel, rescue and boarding areas of the IRS with a size of 500m² are designed in accordance with the European regulation TSI [4, 5].

Ventilation of escape routes and adjacent technological rooms is solved by means of fans always located near the portal of each gallery. Because portals of tunnel and escape galleries always exit into one portal area, which is also in the open cut in both cases, there would be a risk of polluted air being sucked into the escape route in case of smoke. For this reason, within the DSP, for the purposes of fire ventilation, both galleries were supplemented with objects installed in the field, which serve to suck fresh air outside the portal area of the tunnel (Fig. 3). The bottom of the suction building connects to the ceiling of the escape gallery, which is expanded here for the placement of fans. There are always two fans designed and they “pressurize” the entire escape route (the relevant gallery and all three adjoining cross-passages), which prevents smoke from entering the tunnel in the event of a fire. The overpressure chamber is then created by doubling the entrance doors and partition walls in the portal of the escape gallery.

CHOTÝČANSKÝ TUNEL

The Chotýčany tunnel has a total length of 4806m. Of which the cut and cover tunnel at the entrance portal is 60m long, the excavated tunnel 4464m and the cut and cover tunnel at the exit portal 282m.



Obr. 4 Schéma únikových cest Chotýčanského tunelu
Fig. 4 Scheme of escape routes of the Chotýčany tunnel

terénu pak ovlivňuje délku propojovací chodby a směr úniku z tunelu, kdy šachty 1 až 3 jsou umístěny vpravo ve směru staničení a šachta č. 4 vlevo (obr. 4).

Šachty Chotýčanského tunelu jsou navrženy s únikovým schodištěm a evakuačním výtahem, který podle požadavku HZS bude prioritně využíván jednotkami HZS pro vedení požárního zásahu. Výťah byl podle doporučení HZS doplněn také do šachet č. 3 a 4, přestože jejich hloubka nepřesahuje 30 m a podle normy zde výťah být nemusí. Všechny šachty tak mají stejné dispoziční řešení.

Na tunelových portálech a u výstupu ze všech záchranných šachet jsou navrženy záchranné a nástupní plochy pro složky IZS o velikosti 500 m² v souladu s předpisem TSI [4].

Větrání únikových cest a přilehlých technologických místností je řešeno pomocí ventilátorů umístěných v povrchovém únikovém objektu šachty. V každém objektu jsou navrženy dva ventilátory, které „tlačí“ čerstvý vzduch do celé únikové cesty (schodiště, výťah, spojovací chodba a technologická komora), a tím vytvářejí přetlak zabráňující v případě požáru vniknutí kouře z tunelové trouby do únikové cesty. Z tohoto důvodu je celá úniková cesta řešena jako jeden prostor bez dveří a pouze v povrchovém objektu je dvojicí dveří vytvořena „přetlaková komora“ zajišťující zachování přetlaku v únikové cestě [6].

BEZPEČNOSTNÍ DOKUMENTACE

V rámci zpracování dokumentace DSP bylo podrobněji rozpracováno požárněbezpečnostní řešení (PBŘ) obou tunelů z DÚR, kterým se prokazuje splnění požadavků požární bezpečnosti stavby a jejích technologií. Vzhledem ke specifickým obou tunelů jsou podmínky hodnocení bezpečnostního rizika odlišné od projektování běžných pozemních staveb kvůli rychlému rozvoji požáru v uzavřeném tunelovém prostoru a specifickými podmínkami odvětrání. Vysoká intenzita požáru a šíření zplodin hoření významně zhoršují podmínky pro evakuaci a zásah složek IZS, proto byl jako součást požárněbezpečnostního řešení zpracován expertizní posudek, který podrobněji hodnotí evakuaci osob prostřednictvím matematické simulace (viz dále).

Kromě samotného PBŘ byly zpracovány další technické dokumenty, a to operativně taktická studie, řešící potřebu sil a prostředků složek IZS pro zabezpečení zásahu v tunelu, a analýza rizik, která detailně posuzuje scénáře mimořádných událostí a hodnotí společenskou přijatelnost rizika zvláště pro přepravované osoby.

Tyto technické zprávy jsou souhrnně nazývány jako bezpečnostní dokumentace a byly zpracovány pracovníky Fakulty bezpečnostního inženýrství VŠB-TUO [7].

MODELOVÁNÍ POŽÁRU A EVAKUACE OSOB

V rámci zpracování bezpečnostní dokumentace byla provedena analýza šíření požáru a zplodin hoření vlakové soupravy v tunelu. Tato analýza následně sloužila k ověření podmínek pro evakuaci

Geological conditions and excavation

The tunnel route passes through metamorphic Moldanubian rocks, deep igneous rocks of the Ševětín granodiorite. Upper Cretaceous sediments and rocks of the Klikov Formation can also be found in the cut and cover part of the tunnel at the exit portal. The strong tectonic failure zone of the rock massif with a considerable depth reach has a very negative effect on the future construction in the first kilometer of the tunnel, connected to the paragneiss rock massif. The depth range of weathering reaches up to 40m in the vicinity of tectonic faults and locally extends to the level of the designed tunnel. In the igneous rocks of the Ševětín granodiorite, the excavation conditions are more favorable, however, towards the exit portal, the deep weathered zones also extend to the tunnel level, and in the portal area even well below its base.

Due to the relatively diverse geological conditions, a wide portfolio of heading and bench technological excavation classes is proposed, from TTV 2, 3 and 4 for gneiss and granodiorite rocks, to technological classes 5a, 5b and 5c for heavily to completely weathered rocks and class 6, which assumes full pre-grouting of the excavated tunnel profile in the worst geological conditions. The maximum face of the excavated tunnel in TTV 5c is 159.8m² with an excavation width of 15.44m and a height of 13.13m.

Safety solutions

In accordance with the DÚR solution, four escape routes have been designed for the evacuation of people from the tunnel, which are connected to the tunnel at mutual distances from 924 to 996m. The escape route passes through a corridor in the technology chamber, where technology rooms are concentrated on both corridor sides (2 transformer stations, a room for communication equipment and a weak-current substation), then a connecting corridor and then a shaft ending on the surface. The individual shafts have depths of 77m, 44m, 27m and 26m, their location in the terrain then affects the length of the connecting corridor and the direction of escape from the tunnel, when shafts 1 to 3 are located on the right in the direction of stationing and shaft No. 4 on the left (Fig. 4).

The shafts of the Chotýčany tunnel are designed with an escape staircase and an evacuation elevator, which according to the requirements of the Fire and Rescue Service will be used as a priority by IRS corps to conduct fire interventions. According to the Fire and Rescue Service recommendation, the lift was also added to shafts No. 3 and 4, although their depth does not exceed 30m and, according to the standard, the lift does not have to be there. All shafts thus have the same layout solution.

On the tunnel portals and at the exit from all rescue shafts, rescue and boarding areas are designed for IRS units with a size of 500m² in accordance with the TSI regulation [4].

Ventilation of escape routes and adjacent technological rooms is solved by means of fans located in the surface escape object of the shaft. Two fans are designed in each building, which “push” fresh

osob z hořící vlakové soupravy do bezpečného prostoru (chráněných únikových cest nebo portálů tunelů).

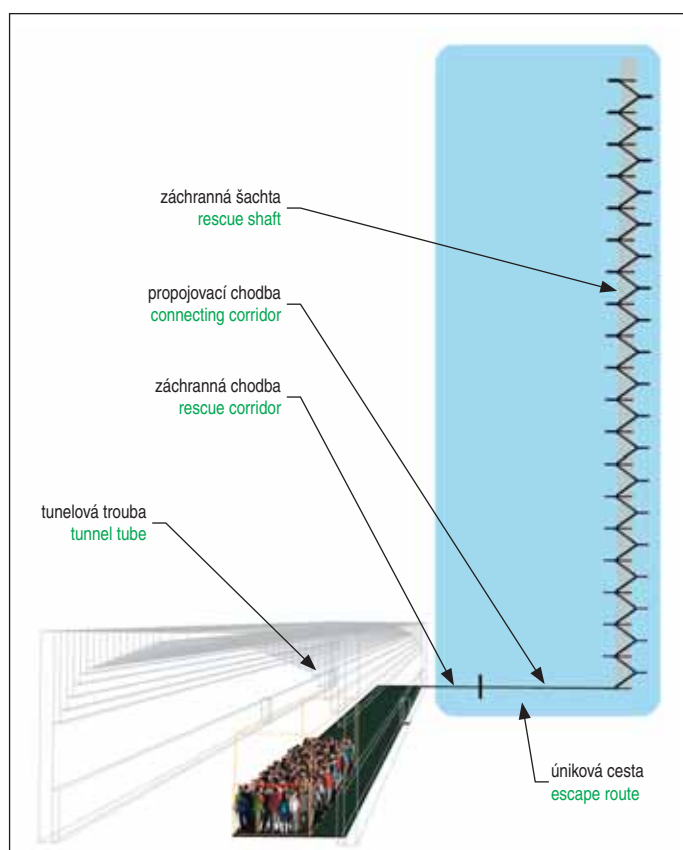
Výchozí předpoklady pro modelování

Analýza šíření požáru a zplodin hoření v obou železničních tunelech byla provedena prostřednictvím modelu požáru a slouží k ověření podmínek pro evakuaci osob z hořící vlakové soupravy (např. požár lokomotivy) do bezpečného prostoru. V rámci modelování požáru byly stanoveny vybrané parametry požáru jako rychlost uvolňování tepla, průběh viditelnosti v prostoru tunelu nebo průběh teplot na vybraných místech.

Analýza evakuace v první části zjišťuje pohyb osob v požárem zasaženém prostoru tunelové trouby. Konkrétně sleduje výstup osob z vlakové soupravy a jejich pohyb po únikovém chodníku směrem k záchranným cestám, popř. tunelovým portálům. Model ověřuje, zda unikající osoby v potřebném čase opustí tunel, tedy zda evakuace proběhne dříve, než v prostoru tunelu budou překročeny limitní hodnoty pro bezpečnou přítomnost osob. Oproti běžnému normovému řešení bylo provedeno propojení modelu evakuace s modelem požáru.

Analýza evakuace v druhé části ověřuje pohyb osob v bezpečném prostoru tunelu (únikové cesty), který modeluje pohyb osob propojkou a únikovou štolou u Hosínského tunelu, případně únikovou chodbou a následně záchrannou šachtou u Chotýčanského tunelu. Zde je navíc řešena kombinace úniku osob po schodišti a výtahem. Tento návrh ověřuje dostatečnou prostorovou kapacitu únikových cest pro soustředění všech osob z vlakové soupravy a stanovení předpokládané celkové doby evakuace (opuštění nebezpečného prostoru tunelu). Únik portálem tunelu nebyl brán v úvahu, neboť je z možných variant úniku považován za příznivější.

Pro posouzení rozvoje požáru vlakové soupravy v železničních tunelech byl použit numerický model typu pole Fire Dynamics Simulator. Pro simulaci evakuace byl využit model Pathfinder, který je



Obr. 5 Model evakuace osob
Fig. 5 Person evacuation model

air into the entire escape route (stairs, elevator, connecting corridor and technology chamber), thus creating an overpressure preventing smoke from entering the escape route from the tunnel tube in the event of a fire. For this reason, the entire escape route is designed as a single space without a door, and only in the surface object there is a pair of doors creating an “overpressure chamber” ensuring the maintenance of overpressure in the escape route [6].

SAFETY DOCUMENTATION

As part of the processing of the DSP documentation, the fire safety design of both tunnels in DŮR was elaborated in more detail, which proved the fulfillment of the fire safety requirements of the structure and its technologies. Due to the specifics of both tunnels, the conditions of the safety risk assessment are different from the design of common buildings due to the rapid development of a fire in an enclosed tunnel area and specific ventilation conditions. The high intensity of the fire and the spread of combustion products significantly worsen the conditions for evacuation and intervention of IRS units, therefore, as part of the fire safety design, an expert report was prepared, which assessed the evacuation of people in more detail through mathematical simulation (see below).

In addition to the fire safety design itself, other technical documents were prepared, namely an operational tactical study addressing the need for forces and resources of IRS units to ensure intervention in the tunnel, and a risk analysis that assesses emergency scenarios in detail and assesses the social acceptability of the risk, especially for passengers.

These technical reports are collectively referred to as safety documentation and were prepared by employees of the Faculty of Safety Engineering VŠB-TUO [7].

FIRE MODELING AND PERSONS EVACUATION

As part of the processing of the safety documentation, an analysis of the spread of fire and combustion products of the train set in the tunnel was performed. This analysis subsequently served to verify the conditions for the evacuation of people from the burning train to a safe area (protected escape routes or tunnel portals).

Initial assumptions for modeling

The analysis of the spread of fire and combustion products in both railway tunnels was performed using a fire model and serves to verify the conditions for evacuation of people from a burning train (e.g., locomotive fire) to a safe area. Within the fire modeling, selected fire parameters were determined, such as the rate of heat release, the development of visibility in the tunnel area or the course of temperatures at selected places.

The analysis of the evacuation in the first part determines the movement of persons in the fire-affected area of the tunnel tube, specifically the exit of persons from the train set and their movement along the escape path towards the rescue routes, or tunnel portals. The model verifies whether the escaping persons leave the tunnel in the required time, i.e. whether the evacuation will take place before the limit values for the safe presence of persons are exceeded in the tunnel area. In contrast to the usual standard solution, the connection of the evacuation model with the fire model was performed.

The evacuation analysis in the second part verifies the movement of people in the safe area of the tunnel (escape routes), which models the movement of people through the crosspassage and escape gallery at the Hosín tunnel, or the escape corridor and subsequently the rescue shaft at the Chotýčany tunnel. In addition, a combination of escape of people up the stairs and an elevator is solved here. This proposal verifies the sufficient space capacity

analytickým nástrojem simulujícím evakuaci osob, jenž pro potřebu analýzy požárních rizik může být propojen s výstupy z modelu požáru. Evakuační model je velmi užitečný pro návrh bezpečné evakuace, zejména pro lokalizaci evakuačních bariér a tvorby front [8, 9].

Návrhové scénáře

Pro zpracování modelů byly zvoleny nejnejpříznivější návrhové scénáře, kdy dojde k zastavení hořící vlakové soupravy v blízkosti jednoho vstupu do únikové cesty a tím k jeho zablokování. Osoby ze zasažené soupravy jsou pak nuceny utíkat tunelovou troubou k další únikové cestě.

V Hosínském tunelu zastavením hořící vlakové soupravy v blízkosti jednoho z únikových východů jsou unikající osoby donuceny dojít 500 m k následující propojce do únikové štolky. Zde se jedná o propojku č. 3, kdy vzdálenost k východu ze štolky jih je 1364 m.

Pro Chotýčanský tunel modelová situace uvažuje nejnejpříznivější variantu úniku 1 km tunelovou troubou a následně přes záchrannou cestu č. 1, protože má nejen největší hloubku šachty (cca 77 m), ale zároveň rovněž nejkratší délku bezpečné propojovací chodby pro soustředění unikajících osob (obr. 5).

Nastavení evakuačního modelu

Pro simulaci evakuace bylo do modelu zadáno 500 osob (což odpovídá soupravě s osmi vagony s průměrnou obsazeností cca 63 osob v jednom vagonu). Specifikace osob v modelu byla dána podle standardního složení populace – byly zadány věkové skupiny (od 10 do 85 let), které určují rychlost pohybu jednotlivých osob (0,46–1,54 m/s).

V rámci modelování první části evakuace byla sledována doba úniku osob ze zasažené tunelové trouby do prostoru záchranné chodby a byly sledovány zhoršené podmínky do výšky 2 m vedoucí ke ztrátě viditelnosti pro unikající osoby v tunelu. Hraniční hodnotou viditelnosti je 5 m, která může být nejen příčinou vzniku panikového chování, ale také může znesnadnit orientaci osob a v konečném důsledku zpomalit nebo úplně zamezit proces evakuace z ohrožených prostor.

Druhá část evakuace je zaměřena na pohyb osob chráněnou únikovou cestou (propojkou a štolou nebo chodbou a šachtou) směrem k výstupu na volné prostranství. Model zde plynule navazuje na únik z tunelu, a kromě toho, v případě návrhu Chotýčanského tunelu, bylo zadáno, že 70 % osob využije schodiště a zbylých 30 % použije výtah. Prostory únikové cesty jsou samostatným požárním úsekem vybaveným přetlakovým větráním (označení chráněná úniková cesta), takže tento prostor je vhodný pro případné soustředění osob a následný postupný únik záchrannou štolou nebo šachtou.

Výstupy modelů a úprava uspořádání únikových cest

V průběhu evakuace se postupně zhoršují podmínky pro unikající osoby, a tím dochází k nárůstu počtu osob ohrožených sníženou viditelností v modelovaném úseku.

Hosínský tunel

Celková doba evakuace osob z vlakové soupravy pro nejnejpříznivější modelovou situaci v Hosínském tunelu vychází na cca 67 minut.

Průchod osob z tunelové trouby do

of the escape routes for the concentration of all persons from the train set and the determination of the expected total evacuation time (leaving the hazardous area of the tunnel). Verification of the evacuation through the tunnel portal was not considered, as it is more favorable of the possible evacuation variants.

A numerical model of the Fire Dynamics Simulator was used to assess the development of a train set fire in railway tunnels. The Pathfinder model was used to simulate the evacuation, which is an analytical tool simulating the evacuation of people, which can be linked to the outputs of the fire model for the purpose of fire risk analysis. The evacuation model is very useful for the design of safe evacuation, especially for the location of evacuation barriers and the formation of queues [8, 9].

Design scenarios

The most unfavorable design scenarios were chosen for the processing of the models, when the burning train is stopped near one of the entrances to the escape route and thus the entrance is blocked. The people from the affected train are then forced to run through the tunnel to the next escape route.

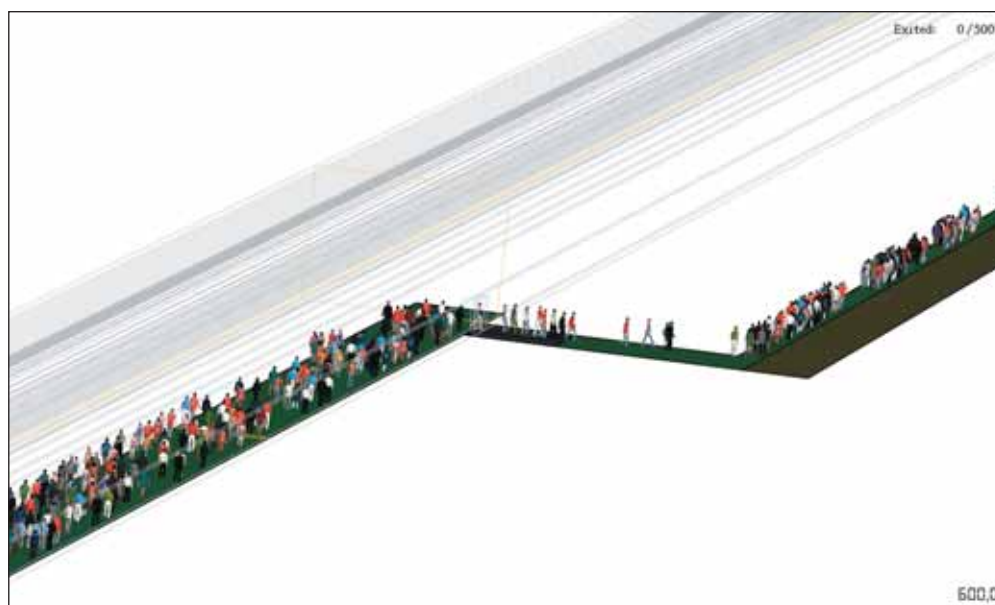
In the Hosín tunnel, by stopping a burning train near one of the escape exits, the escaping persons are forced to walk 500m to the next crosspassage to the escape gallery. This is the crosspassage No. 3, where the distance to the exit from the gallery south is 1364m.

For the Chotýčany tunnel, the model situation considers the most unfavorable variant of escaping 1km through a tunnel tube and subsequently through rescue route No. 1, because it has not only the largest shaft depth (approx. 77m) but also the shortest length of the safe connection corridor for gathering escaping people (Fig. 5).

Evacuation model settings

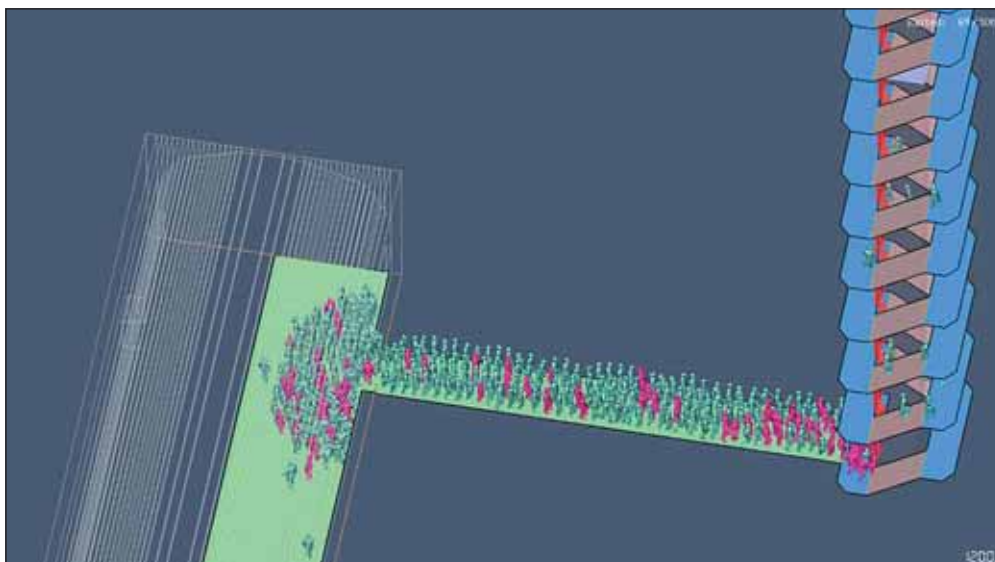
To simulate the evacuation, 500 people were entered into the model (which corresponded to a train with eight wagons with an average occupancy of about 63 people in one wagon). The specification of persons in the model was given according to the standard composition of the population – different age groups (from 10 to 85 years) were entered, which determine the speed of movement of individual persons (0.46–1.54m/s).

As part of the modeling of the first part of the evacuation, the time of escape of persons from the affected tunnel tube into the area of the rescue corridor was monitored and deteriorated conditions up to a



Obr. 6 Průběh evakuace přes únikovou štolu v Hosínském tunelu

Fig. 6 The course of evacuation through the escape gallery in the Hosín tunnel



Obr. 7 Kumulace osob před vstupem do únikové cesty v Chotýčanském tunelu
Fig. 7 Cumulation of persons before entering the escape route in the Chotýčany tunnel

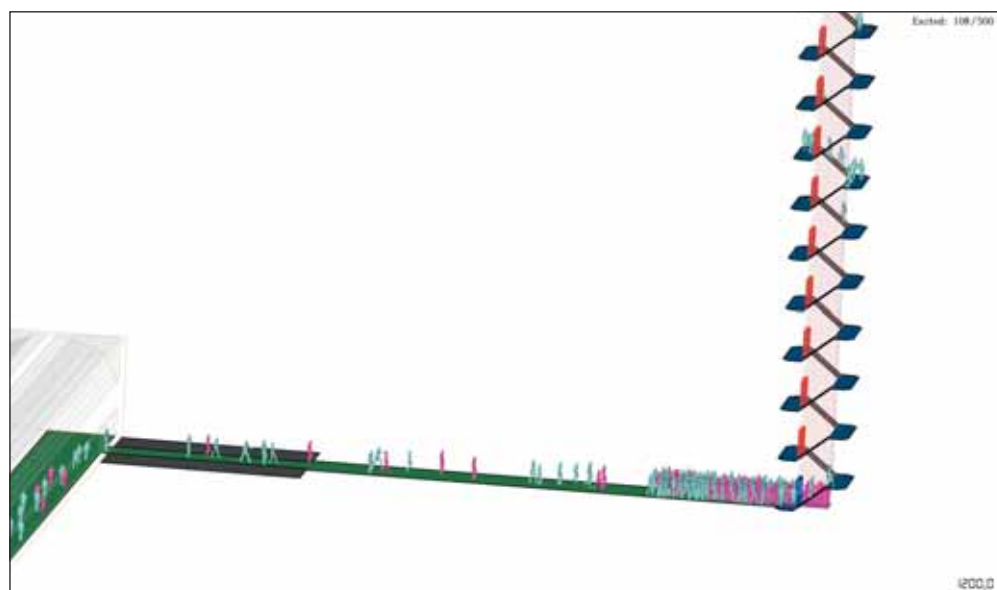
chráněné únikové cesty je plynulý a během celé evakuace nedochází ke kumulaci osob před vstupem do tunelové propojky (obr. 6). Vlastní prostor záchranné štoly je navíc u tunelových propojek rozšířen, což dovoluje nejen lepší přípravu jednotek HZS na vlastní zásah, ale také skýtá manipulační prostor pro umístění zraněných osob, které zde mohou v případě nouze vyčkat na pomoc záchranářů.

Z operativně taktické studie vyplývá, že pro Hosínský tunel je doba od ohlášení požáru k nasazení sil a prostředků 23 minut. Model evakuace prokázal, že v tomto čase se v tunelu již nebudou nacházet osoby, které se nestačily evakuovat. Přesto zde mohou být osoby, které se nemohly samy evakuovat (např. z důvodu zranění). Jejich záchrana je primárním cílem zasahujících složek IZS.

Chotýčanský tunel

Celková doba evakuace osob z vlakové soupravy pro nejnejpříznivější modelovou situaci v Chotýčanském tunelu vychází na cca 50 minut.

Při modelování evakuace na základě původního řešení únikových cest podle DÚR docházelo k hromadění osob v únikové cestě kvůli částečné kumulaci osob před vstupem do šachty z důvodu č-



Obr. 8 Průběh evakuace po úpravě délky únikových cest v Chotýčanském tunelu
Fig. 8 Evacuation process after adjusting the length of escape routes in the Chotýčany tunnel

limit of 2m were monitored leading to loss of visibility for escaping persons in the tunnel. The limit of visibility is 5m, which can not only cause panic behavior, but can also make it difficult for people to orientate and ultimately slow down or completely prevent the evacuation process from endangered areas.

The second part of the evacuation is focused on the movement of people protected by an escape route (crosspassage and gallery or corridor and shaft) towards the exit to the open space. The model here seamlessly follows the escape from the tunnel, and in addition, in the case of the design of the Chotýčany tunnel, it was specified that 70% of people would use the stairs and the remaining 30% would

use the elevator. The areas of the escape route are a separate fire safety section equipped with overpressure ventilation (marked as protected escape route), so this area is suitable for possible gathering of persons and subsequent gradual escape through the rescue gallery or shaft.

Model outputs and modification of escape routes

During the evacuation, the conditions for escaping people gradually deteriorate, which leads to an increase in the number of people at risk of reduced visibility in the modeled section.

Hosín tunnel

The total time of evacuation of people from the train for the most unfavorable model situation in the Hosín tunnel is about 67 minutes.

The passage of persons from the tunnel to the protected escape route is smooth and during the whole evacuation there is no accumulation of persons before entering the tunnel crosspassage (Fig. 6). In addition, the rescue gallery's own space is extended at the tunnel crosspassages, which not only allows better preparation of fire fighter units for their intervention, but also provides a handling space for the placement of injured people, who can wait for rescuers in case of emergency.

The operational tactical study shows that for the Hosín tunnel, the time from the announcement of a fire to the deployment of forces and resources is 23 minutes. The evacuation model proved that at this time there would no longer be people in the tunnel who could not evacuate. Nevertheless, there may be people who could not evacuate themselves (e.g., due to injury). Their rescue is the primary goal of the intervening IRS units.

Chotýčany tunnel

The total time of evacuation of people from the train for the most unfavorable model situation in the Chotýčany tunnel is about 50 minutes.

kání části osob na výtah. Tím docházelo k zaplnění krátké chodby a kumulaci osob přímo v tunelu u vstupu do únikové cesty (obr. 7). Osoby, které by takto zůstaly v nechráněném prostoru, by byly ohroženy na životě, takže posuzovaný scénář byl hodnocen jako společensky nepřijatelný.

Na základě těchto výsledků byly krátké chodby do šachet č. 1 a 4 zaústěny situačně z jiného směru, a tím došlo k jejich prodloužení. Touto úpravou bylo dosaženo zvýšení kapacity únikové cesty pro nahromaděné osoby v průběhu evakuace.

Výsledkem modelace upraveného stavu je plynulý průchod osob z tunelu do chráněné únikové cesty. V samotné chodbě dochází k částečné kumulaci osob před vstupem do záchranné šachty z důvodu čekání na výtah, ale během celé evakuace nedochází ke kumulaci osob před vstupem do únikové cesty, což znamená, že má dostačující prostorovou kapacitu (obr. 8).

Z operativně taktické studie pak vyplývá, že pro Chotýčanský tunel je doba od ohlášení požáru k nasazení sil a prostředků 24 minut. Model evakuace prokázal, že v tomto čase se v tunelu může nacházet až 75 osob, které se nestačily nebo nemohly samy evakuovat (např. z důvodu zranění). Primárním cílem zasahujících složek IZS je dokončení evakuace těchto osob.

ZÁVĚR

Dvoukolejný železniční tunel obdobného rozsahu nebyly dosud v ČR realizovány, Chotýčanský tunel navíc bude nejdelším železničním tunelem v ČR. Příprava dokumentace DSP obou tunelů je i vzhledem k době uplynulé od vzniku DÚR velkou výzvou pro všechny zúčastněné. Bezpečnostní řešení tunelu a z toho plynoucí koncepce posouzení únikových cest od samého počátku prací výrazně vstupuje do celého procesu přípravy.

Modelování požáru a evakuace zohledňuje více návrhových faktorů (např. tepelný výkon a rozvoj požáru, teplotní působení na osoby, působení toxických zplodin hoření, dispozice únikových cest, počty osob a jejich fyzickou nebo duševní schopnost) a umožňuje tak poměrně rychle řešit různé varianty a optimalizovat navržené technické řešení.

*Ing. MICHAL HNILÍČKA,
michal.hnilicka@mottmac.com,
Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.,
doc. Ing. PETR KUČERA, Ph.D.,
petr.kucera@vsb.cz,
Fakulta bezpečnostního inženýrství, VŠB-TUO*

Recenzoval *Reviewed*: Bc. MSc. Michal Froněk

When modeling the evacuation on the basis of the original solution of escape routes according to DÚR, there was a congestion of people in the escape route due to partial accumulation of people before entering the shaft due to waiting for the elevator. This filled the short corridor and accumulated people directly in the tunnel at the entrance to the escape route (Fig. 7). People who would thus remain in an unprotected space would be life-threatening, so the assessed scenario was evaluated as socially unacceptable.

Based on these results, the short corridors were entered in the shafts No. 1 and 4 from a situationally different direction, thus extending them. This modification increased the capacity of the escape route for the person accumulation during the evacuation.

The modeling the modified state resulted in a smooth passage of people from the tunnel to the protected escape route. In the corridor itself, there is a partial accumulation of people before entering the rescue shaft due to waiting for the elevator, but during the whole evacuation there is no accumulation of people before entering the escape route, which means that it has sufficient space (Fig. 8).

The operational tactical study then shows that for the Chotýčany tunnel, the time from the announcement of the fire to the deployment of firefighting forces and resources is 24 minutes. The evacuation model showed that at this time there could be up to 75 people in the tunnel who could not or could not evacuate themselves (e.g., due to injury). The primary goal of the intervening IRS units is to complete the evacuation of these people.

CONCLUSION

Double-track railway tunnels of a similar scale have not yet been built in the Czech Republic; in addition, the Chotýčany tunnel will be the longest railway tunnel in the Czech Republic. The preparation of the DSP documentation of both tunnels is also a great challenge for all participants given the time that has elapsed since the establishment of the DÚR. The safety solution of the tunnel and the resulting concept of assessing escape routes from the very beginning of the work significantly impacts the whole design process.

Fire and evacuation modeling allows several design factors to be taken into account (e.g., heat output and fire development, temperature effects on persons, exposure to toxic combustion products, layout of escape routes, number of persons and their physical or mental capacity) and it is thus possible to solve various variants relatively quickly and to optimize the proposed technical solution.

*Ing. MICHAL HNILÍČKA,
michal.hnilicka@mottmac.com, Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.,
doc. Ing. PETR KUČERA, Ph.D.,
petr.kucera@vsb.cz,
Fakulta bezpečnostního inženýrství, VŠB-TUO*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] *Modernizace trati Nemanice I – Ševětín, projektová dokumentace DSP*. Mott MacDonald CZ, spol. s r.o., 2021
- [2] Vzorový list – Světlý tunelový průřez dvoukolejného tunelu. Správa železniční dopravní cesty s. o., 2011
- [3] ČSN 73 7208 Železniční tunely, změna Z1. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010
- [4] Nařízení Komise (EU č. 1303/2014) ze dne 18. 11. 2014 o technické specifikaci pro interoperabilitu týkající se „bezpečnosti v železničních tunelech“ železničního systému Evropské unie. Ve znění pozdějších změn a oprav (Nařízení Komise EU č. 2016/912, Prováděcí Nařízení Komise EU č. 2019/776)
- [5] Nařízení vlády č. 133/2005 Sb., o technických požadavcích na provozní a technickou propojenost evropského železničního systému, ve znění pozdějších předpisů
- [6] *Tunely Chotýčany a Hosín – Větrání únikových cest*. IP Engineering GmbH, Münchenstein, Švýcarsko, 2021
- [7] *Bezpečnostní dokumentace Chotýčanského a Hosínského tunelu*. Fakulta bezpečnostního inženýrství VŠB-TUO, 2021
- [8] McGRATTAN, K. et al. *Fire Dynamics simulator – User's Guide*. NIST Special Publication 1019-6. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, 2020
- [9] *Pathfinder User Manual*. Manhattan: Thunderhead Engineering, 2021

TUNEL PREŠOV, ZMENY TECHNICKÉHO RIEŠENIA POČAS VÝSTAVBY

PREŠOV TUNNEL, CHANGES IN TECHNICAL SOLUTION DURING CONSTRUCTION

MILOSLAV FRANKOVSKÝ, ADRIANA JAKUBÍKOVÁ, ROMAN ŠÁLY, JÁN ZAJAC

ABSTRAKT

Diaľničný tunel Prešov na úseku diaľnice D1 Prešov západ – Prešov juh bol po viac ako 4 rokoch výstavby uvedený na konci októbra 2021 do prevádzky ako v poradí jedenásty diaľničný tunel na Slovensku. Technické riešenie viacerých tunelových objektov, ktoré bolo predmetom dokumentácie na ponuku, bolo počas výstavby zmenené, jednak z dôvodov odlišných geotechnických podmienok na stavenisku, jednak z dôvodu zmien technických predpisov a požiadaviek objednávateľa stavby, Národnej diaľničnej spoločnosti. Zmeny v technickom riešení sa týkali stavebnej časti, ako aj technologického časti tunela, pričom sa častokrát vzájomne ovplyvňovali. Predmetom článku je popis zmien vybraných objektov stavebnej časti tunela, čím článok nadväzuje na články publikované v predošlých ročníkoch časopisu.

ABSTRACT

The Prešov motorway tunnel on the Prešov West – Prešov South section of the D1 motorway was brought into operation at the end of October 2021, after more than 4 years of construction, as the eleventh motorway tunnel in Slovakia. The technical solution to several tunnel objects, which was the subject of the tender design, was changed during the course of the construction, partly due to different geotechnical conditions on the construction site, partly due to changes in technical regulations and requirements of the client, the National Highway Company. The changes in the technical solution regarded the civil engineering part as well as the equipment part of the tunnel, while they often influenced each other. The subject of the paper is a description of changes in selected objects of the civil engineering part of the tunnel, forming a follow-up to the articles published in previous volumes of the journal.

ÚVOD

Diaľničný úsek Prešov západ – Prešov juh, ktorého súčasťou je tunel Prešov, tvorí juhozápadný obchvat rovnomenného krajského mesta. Uvedením diaľničného úseku do prevádzky 28. októbra 2021 sa predĺžila ucelená diaľnica D1 medzi Ružomberkom a Košicami na celkovú dĺžku 168 km (Juhás a kol., 2021). Doba prejazdu cez mesto Prešov sa podľa odhadov dopravných inžinierov skrátila o približne 18 minút. Tunel Prešov je jedenástym slovenským diaľničným tunelom vybudovaným v období od roku 1996.

Prvé trasovanie diaľnice na obchvate Prešova bolo navrhované v roku 1993 v rámci environmentálnej štúdie Hybe – Prešov, kde bol hodnotený povrchový a tunelový variant diaľnice s odporúčaním tunelového variantu pre ďalší proces prípravy. V roku 1996 bola vypracovaná správa o hodnotení vplyvov stavby na životné prostredie. V roku 2001 bola vypracovaná technická štúdia juhozápadného tunelového obchvatu mesta Prešov a následne v roku 2008 dokumentácia na územné rozhodnutie. Rozhodnutie o umiestnení stavby bolo vydané v roku 2009. V roku 2013 bola spracovaná dokumentácia pre stavebné povolenie, ktoré bolo následne vydané v roku 2015. Výstavba úseku diaľnice sa začala v júni 2017 a bola ukončená uvedením diaľnice do prevádzky v októbri 2021. Od začiatku prípravných prác na environmentálnej štúdii po sprevádzkovanie diaľnice teda prebehlo 28 rokov.

Objednávateľom stavby a súčasným prevádzkovateľom diaľnice je Národná diaľničná spoločnosť a.s. Stavbu realizovalo združenie EUROVIA SK a.s., Doprastav, a.s., Metrostav a.s., za realizáciu tunela bol zodpovedný Metrostav a.s. Projektantom stavby bol vo všetkých fázach prípravy DOPRAVOPROJEKT, a.s., ktorý počas stavby vykonával autorský dozor a podieľal sa na spracovaní dokumentácie na vykonanie prác a zmeny dokumentácie na realizáciu stavby. Stavba bola spolufinancovaná Európskou úniou v rámci Kohézneho fondu – Operačný program integrovaná infraštruktúra 2014–2020 a štátneho rozpočtu.

INTRODUCTION

The Prešov West – Prešov South motorway tunnel, with the Prešov tunnel forming its part, creates a south-western by-pass of the regional town of the same name. With the commissioning of the motorway section on 28 October 2021, the self-contained D1 motorway between Ružomberok and Košice was extended to a total length of 168km (Juhás et al., 2021). According to estimates by traffic engineers, the transit time through the town of Prešov was reduced by approximately 18 minutes. The Prešov tunnel is the eleventh Slovak motorway tunnel built in the period since 1996.

The first route of the motorway on the Prešov bypass was proposed in 1993 within the Hybe – Prešov environmental study, where an at-grade and underground variants of the motorway were assessed, with a recommendation for the underground variant to be adopted for the next preparation process. In 1996, a report on the environmental impact assessment of the construction was prepared. A technical study on the south-western tunnel bypass of the town of Prešov was prepared in 2001. It was followed in 2008 by the design for zoning and planning decision. The construction location decision was issued in 2009. In 2013, the final design was prepared; the building permit was subsequently issued in 2015. Construction of the motorway section began in June 2017 and was completed by the commissioning of the motorway in October 2021. Thus, 28 years have elapsed between the start of the preparatory work on the environmental study and the commissioning of the motorway.

The client for the construction and the current operator of the motorway is the National Motorway Company. The construction was carried out by the association formed by EUROVIA SK a.s., Doprastav, a.s. and Metrostav a.s. Metrostav a.s. was responsible for the construction of the tunnel. DOPRAVOPROJEKT, a.s. was the

TECHNICKÉ RIEŠENIE TUNELA A JEHO ZMENY

Súčastou diaľničného úseku je dvojrúrový razený tunel Prešov s dĺžkou rúr 2230,5 m (ľavá tunelová rúra) a 2244 m (pravá tunelová rúra), ktorým je vedená trasa diaľnice pod Malkovskou hôrkou. Tunel je vybudovaný v šírkovej kategórii 2T 7,5, čo predstavuje šírku vozovky medzi obrubníkmi 7,5 m. Obe tunelové rúry sú vedené v jednostrannom pozdĺžnom sklone 2,80 % s klesaním od západného portálu smerom k východnému portálu (Frankovský a kol., 2016).

Technické riešenie tunela v dokumentácii na stavebné povolenie a dokumentácii na ponuku bolo počas realizácie upravované z dôvodu skutočne zastihnutých geologických a geotechnických podmienok, ako aj z dôvodu vývoja noriem a technických predpisov. V niektorých prípadoch bol dôvodom tiež vývoj názorov a stavu získaných skúseností strán zúčastnených na výstavbe, teda objednávateľa, zhotoviteľa aj projektanta. Tak ako je to obvyklé, zmeny určitých objektov vyvolali potrebu zmien ďalších objektov, či už stavebnej alebo technologickej časti tunela.

Zmenené technické riešenia jednotlivých objektov tunela boli predmetom dokumentácie na vykonanie prác a zmeny dokumentácie na realizáciu stavby, ktoré boli spracovávané v období počas výstavby diaľnice.

RAZENIE TUNELA A NOSNÉ KONŠTRUKCIE

Tunel bol razený konvenčne, podľa princípov Novej rakúskej tunelovacej metódy, v horninovom prostredí tvorenom najmä striedajúcimi sa ílovcovými a pieskovcovými súvrstviami, s nadložími maximálnej výšky 80 m. Vzhľadom na predpokladané rozdelenie masívu do 25 kvázihomogénnych celkov bola v dokumentácii na ponuku uvažovaná škála 6 výstrojovacích tried s maximálnou dĺžkou záberu v kalote od 1,0 do 3,0 m. Nepredpokladali sa veľké prítoky vody do tunelových rúr počas razenia (Kubiš a kol., 2016).

Razenie tunela začalo v auguste 2018 od oboch portálov, pričom sa prerážky oboch tunelových rúr konali v polovici júna 2019 (Břichnáč a kol., 2020). Dĺžky razených úsekov tunela boli 2167, resp. 2189 m. Priemerný postup razenia teda predstavoval približne 100 m mesačne na jednej čelbe. Pri razení tunela boli na rozdiel od predpokladov dokumentácie na ponuku aplikované iba výstrojovacie triedy 5B, 6 a 7 s dĺžkou záberu od 1,0 do 1,7 m, pričom prevažná časť dĺžky tunela, približne 80 % jeho dĺžky, bola razená vo výstrojovacej triede 5B. Rozhodovanie o aplikácii výstrojovacích tried bolo podľa názoru projektanta pomerne konzervatívne.

Použitie výstrojovacích tried 5B, 6 a 7 malo za následok aj to, že sekundárne ostenie tunela bolo v celej dĺžke tunelových rúr realizované z vystuženého betónu, čo bola ďalšia zmena oproti predpokladom, keď mala byť väčšia časť dĺžky tunelo-

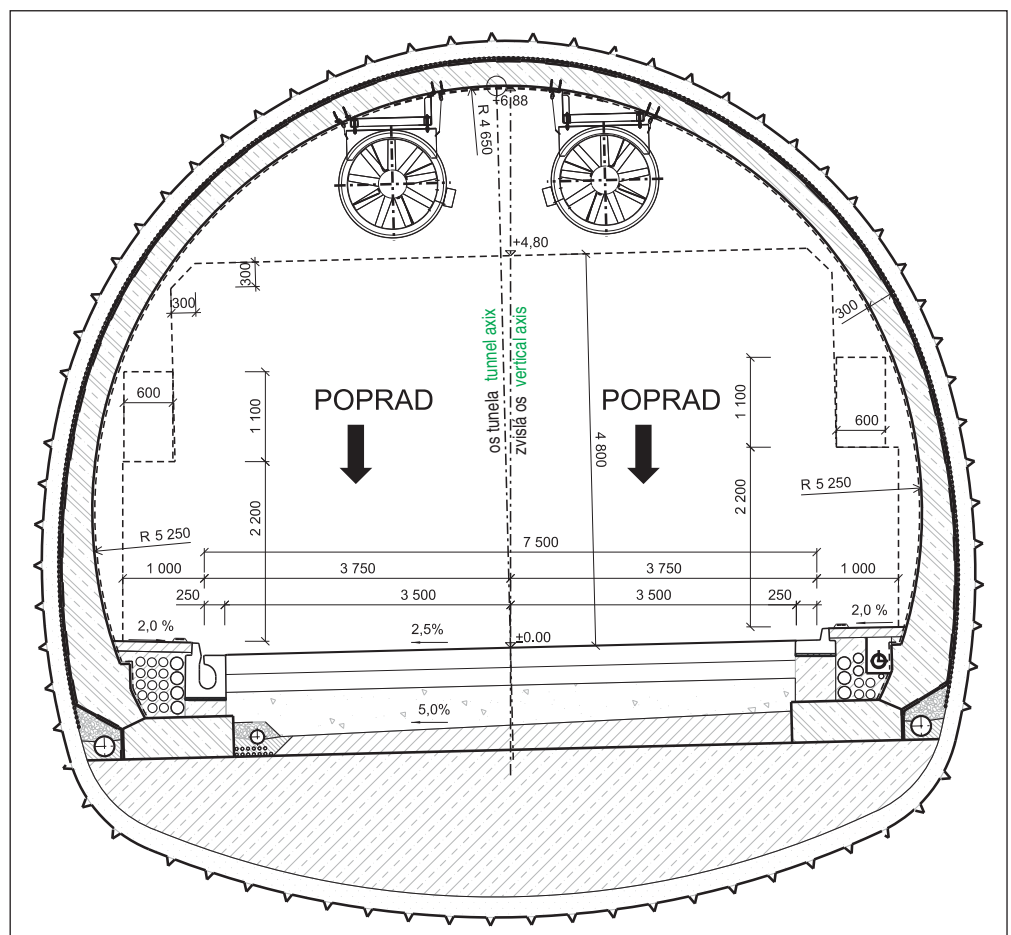
construction designer in all phases of preparation. It also conducted author's supervision during the construction and participated in the work on the detailed design and changes in the detailed design. The construction was co-funded by the European Union under the Cohesion Fund – Operational Program Integrated Infrastructure 2014–2020 and the state budget.

TECHNICAL SOLUTION TO THE TUNNEL AND ITS MODIFICATIONS

The motorway section includes a twin-tube mined tunnel Prešov with a length of 2230.5m (left-hand tunnel tube) and 2244m (right-hand tunnel tube), leading the motorway route under Malkovská Hôrka hill. The width category 2T 7.5 proposed for the tunnel represents the kerb-to-kerb width of 7.5m. Both tunnel tubes run on a one-way longitudinal slope of 2.80% descending from the western portal towards the eastern portal (Frankovský et al., 2016).

The technical solution to the tunnel in the final design and the tender design was modified during the construction process due to the actual geological and geotechnical conditions, as well as due to the development of standards and technical regulations. In some cases, the reason lay also in the development of opinions and the state of experience gained by the parties involved in the construction, i.e. the client, contractor and designer. As usual, changes to certain objects necessitated changes in other objects, both the civil engineering part and the part concerning the equipment of the tunnel.

The changed technical solutions to the individual tunnel objects were the subject of the final design and changes in the detailed design, which were processed during the motorway construction.



Obr. 1 Vzorový priečný rez tunela so spodnou klenbou
Fig. 1 Standard cross-section through a tunnel with invert

vých rúr so sekundárnym ostením z prostého betónu. Pravidelná dĺžka bloku sekundárneho ostenia zostala zachovaná v hodnote 12 m, hrúbka klenby ostenia 30 cm, resp. 40 cm v núdzových zá-
livoch.

Dno tunelových rúr bolo v dokumentácii na ponuku navrhnuté s protiklenbou alebo bez nej, s plochým dnom, pričom počas vý-
stavby boli použité obe riešenia. Protiklenba bola realizovaná pre-
važne z prostého betónu (obr. 1), len v úsekoch s najhoršími geo-
technickými podmienkami bola použitá protiklenba z vystuženého
betónu. V úsekoch tunela s plochým dnom boli vykonané pomerne
masívne výmeny podlažia vozovky s výplňou z prostého betónu.

PRIEČNE PREPOJENIA

Bezpečnostné stavebné úpravy v tuneli Prešov zahŕňajú aj únikové
cesty (UC) do druhej tunelovej rúry tvorené priečnymi prepojeniami,
ktoré sú situované vo vzájomných vzdialenostiach približne 250 m.
Z celkového počtu 8 priečných prepojení boli v dokumentácii na
ponuku 2 prepojenia navrhnuté ako prejazdné, určené pre príjazd
zásahových jednotiek, 2 prepojenia boli navrhnuté ako priečonné
bez technologických miestností (obr. 2) a 4 prepojenia priečonné
s technologickými miestnosťami. Toto rozdelenie zostalo zachované,
k zmenám ale došlo vo vnútornom usporiadaní prepojení.

V dokumentácii na ponuku boli prepojenia predelené jednou ste-
nou s požiarnymi dverami vždy v strede prepojenia, pričom táto
stena tvorila požiarny uzáver medzi dvomi rúrami. Na základe po-
žiadavky objednávateľa vznesenej po podpísaní zmluvy o dielo bolo
toto riešenie zmenené na riešenie oddelujúce priečne prepojenia od
tunelových rúr dvomi stenami na začiatku a na konci prepojenia.
Takéto riešenie si vyžiadalo separátne pretlakové vetranie priesto-
ru priečného prepojenia. Okrem tejto zmeny sa upravili aj pozdĺžne
sklony prepojení, tak aby nepresahovali hodnotu 5 %, následkom
čoho sa museli vykonať aj drobné zmeny v blokovej schéme tunela,
spôsobené zmenou bodu napojenia priečného prepojenia na tunelo-
vú rúru. Doplnenie vetrania priečných prepojení malo za následok aj
zvýšené požiadavky na kapacity chráničkových trás v chodníkoch
tunelových rúr, aj v samotných priečných prepojeniach.

DRENÁŽNE ODVODNENIE

Vzhľadom na očakávané malé prítoky podzemnej vody do tune-
la sa v dokumentácii na stavebné povolenie a v dokumentácii na
ponuku uvažovalo o možnosti čiastočného vynechania hlavného
zberača drenážnych horninových vôd, ktorý bol umiestnený v dne
tunela len v časti jeho dĺžky. Tomuto boli prispôsobené aj profily
potrubí, pričom bočná drenáž bola navrhnutá s priemerom 300 mm
tak, aby bola kapacitne dostatočná aj v prípade vynechania hlavne-
ho zberača v celej dĺžke tunela.

Skutočné hydrogeologické podmienky boli napokon ešte priaz-
nivejšie, než sa predpokladalo, s úhrnným prítokom z oboch rúr
menším než 10 l/s. Tieto podmienky umožnili nielen vynechanie
hlavného zberača v celej dĺžke tunela, ale aj redukcii priemeru boč-
ných drenáží. Vynechanie hlavného zberača je opatrením s pozitív-
nym účinkom nielen na systém odvádzania drenážnych vôd (odpadli
priečne potrubia so zmenami smeru prúdenia vody), ale tiež na vo-
zovku v tuneli, v ktorej nie sú umiestnené poklapy šachiet.

Drenážne potrubia sú realizované z plnostennej nerebrovanej,
pozdĺžne ryhovanej drenážnej rúry PVC s perforáciou v hornej čas-
ti. Pri čistení musia rúry aj tvarovky umožniť vysokotlakový pre-
plach, t. j. bez poškodenia znášať vnútorný pretlak 15 MPa. Bočné
odvodnenie razeného tunela je tvorené PVC potrubím SN8 DN 250
kruhového profilu s perforáciou v hornej časti (120°), ktoré je ulo-
žené vo filterbetóne vedľa základového pásu.



Obr. 2 Núdzový východ do priečného priečného prepojenia
Fig. 2 Emergency exit to cross passage passable for persons

TUNNEL EXCAVATION AND LOAD-BEARING STRUCTURES

The tunnel was driven conventionally, according to the principles
of the New Austrian Tunnelling Method, in a ground environment
formed mainly by alternating clay and sandstone formations, with
maximum height of the overburden of 80m. Due to the expected
division of the massif into 25 quasi-homogeneous units, a range of
6 excavation support classes with a maximum length of excavation
round in the top heading ranging from 1.0 to 3.0m was considered in
the tender design. Large inflows of water into the tunnel tubes during
excavation were not expected (Kubiš et al., 2016).

The tunnel excavation from both portals began in August 2018,
while both tunnel tubes were broken through in mid-June 2019
(Břichnáč et al., 2020). The tunnel sections being excavated were
2167m and 2189m long, respectively. Therefore, the monthly
average excavation advance rate amounted to approximately 100m
at one heading. Contrary to the assumptions of the design, only
excavation support classes VT 5B, 6 and 7 with an excavation round
length of 1.0 to 1.7 m were applied during the tunnel excavation,
while the predominant part of the tunnel length, approximately 80%,
was excavated in the excavation support class 5B. In the opinion of
the designer, the process of making decisions on the application of
excavation support classes was relatively conservative.

The application of excavation support classes 5B, 6 and 7
also resulted in the secondary lining of the tunnel being made of
reinforced concrete along the entire length of the tunnel tubes, which
was another change in comparison with the assumptions where the
major part of the length of the tunnel tubes with secondary lining
was to be of plain concrete. The regular length of the secondary lining
blocks was maintained at 12m, the lining vault was 30cm thick,
respectively 40cm in emergency stopping bays.

The bottom of the tunnel tubes with an invert, or without it, i.e. with
a flat bottom, was designed in the tender design and both solutions
were used during construction. The invert was made mostly of plain
concrete (Fig. 1), only in the sections with the worst geotechnical
conditions a reinforced concrete invert was used. Relatively massive
replacements of the underlying ground with plain concrete were
carried out in the tunnel sections with the flat-bottom.

CROSS PASSAGES

The safety construction modifications in the Prešov tunnel also
include escape paths to the second tunnel tube formed by cross
passages, which are located at the spacing of approximately 250m.
Out of the total number of 8 cross passages, 2 passages were designed
in the tender design as passable for vehicles, without service rooms
(see Fig. 2), and 4 cross passages with service rooms. This division

Čistiace výklenky a čistiace šachty sú vytvorené v sekundárnom ostení tunela a sú umiestňované cca po 60 m. Šachty v čistiacich výklenkoch sú zakryté vodorovným uzamykateľným vodotesným kompozitným poklopom. Šachty na čistenie mimo výklenkov ČD – čistenie drenáže – (v mieste zálivov a v mieste UC) sú uzatvorené uzamykateľným vodotesným liatinovým poklopom. Šachty na čistenie drenáže budú vo veľkosti: 600 × 800 mm. Kyneta v čistiacich šachtách je povrchovo upravená polymérbetónom hr. 2 mm.

Bočné odvodnenie únikových ciest je tvorené potrubím PVC SN8 DN 160 kruhového profilu s perforáciou v hornej časti (220°). Potrubie je cez čistiace šachty napojené do bočného drenážneho odvodnenia tunelových rúr.

Odvodnenie pláne (drenážnej vrstvy) vozovky je zabezpečené potrubím PVC SN8 DN 160 kruhového profilu s perforáciou (220°). Toto potrubie je zaústené do šachiet na čistenie drenáže.

Keďže je tunel po celej dĺžke vedený v sklone zo západu na východ, vypúšťanie horninových vôd zachytávaných v drenážnom odvodnení je situované na východnom portáli tunela (obr. 3). Tam sa vody z bočných drenáží oboch tunelových rúr spájajú a cez kalovú šachtu sú vyústené do rieky Torysa. Na základe výsledkov rozborov vody nebola potrebná žiadna jej úprava pred vypúšťaním do recipientu.

ODVODNENIE VOZOVKY

Odvodnenie vozovky bolo v dokumentácii na stavebné povolenie a v dokumentácii na ponuku navrhnuté z masívneho štrbinového žlabu s kruhovým prierezom potrubia s nepriebežnou štrbinou, spájaným pomocou neoprénového tesnenia. Namiesto sifónových šachiet boli navrhnuté rúrové zhýbky. Pretože zhotoviteľ počas výstavby vybral výrobcu prefabrikovaných žlabov s odlišným riešením, bolo toto riešenie spracované do dokumentácie na vykonanie prác.

Úprava technického riešenia obsahovala zmenu tvaru žlabov, nahradenie čistiacich zhýbok sifónovými šachtami, zmenu na žlab s priebežnou štrbinou so spájaním žlabov na pero a drážku a tiež úpravu dĺžky prefabrikátov na 2,0 m na základe požiadaviek TKP časť 26 Tunely z roku 2017.

Odvodnenie povrchu vozovky bolo navrhnuté zo štrbinových žlabov s obrubníkom 15 cm – profil VII-4-30/30 vyrobených z betónu C45/55, XD3, XF4. Žlaby sú uložené na nižšej strane vozovky, v dĺžkovom usporiadaní 6 × 2,0 m v jednom bloku sekundárneho ostenia tunela. Na opačnej strane vozovky je osadený obrubníkový

has been maintained, but changes have been made in the internal layout of the cross passages.

In the tender design, the cross passages were divided by one wall with a fire-check door located always in the middle of the passage. The wall formed a fire barrier between the two tubes. Based on customer's request made after signing the work contract, this solution was changed to a solution separating cross passages from tunnel tubes by two walls located at the beginning and the end of the passage. Such a solution required separate positive pressure ventilation of the cross passage space. In addition to this change, the longitudinal slopes of the cross passages were adjusted so that they did not exceed 5%. As a result, minor changes had to be made in the tunnel block diagram caused by a change in the connection point of the cross passage to the tunnel tube. The addition of ventilation of cross passages also resulted in increased requirements for the capacities of protection pipe routes in the walkways in tunnel tubes, as well as in the cross passages themselves.

DRAINAGE

With respect to the expected small rates of groundwater inflow into the tunnel, the final design and the tender design considered the possibility of partial omitting the main collector of ground water drainage, which was located in the tunnel bottom only in part of its length. The pipe profiles were also adapted to this, while a diameter of 300mm was designed for the side drainage so that the drainage had sufficient capacity even if the main collector was omitted along the entire length of the tunnel.

Finally, the actual hydrogeological conditions were even more favourable than expected, with a total inflow rate from both pipes of less than 10L/s. These conditions made it possible not only to omit the main collector along the entire length of the tunnel, but also to reduce the diameter of the side drains. The omission of the main collector was a measure with a positive effect not only on the drainage system (transverse pipes with changes in the direction of water flow became unnecessary), but also on the roadway in the tunnel, in which the manhole covers are not placed.

Drainage pipes are made of solid non-ribbed, longitudinally grooved PVC drainage pipe, perforated in the upper part. During cleaning, the pipes and fittings have to allow for high-pressure flushing, i.e. for withstanding an internal overpressure of 15MPa without damage. The side drainage of the mined tunnel is formed

by circular profile SN8 DN 250 PVC pipes perforated in the upper part (120°), which are placed in porous concrete next to the side wall footing.

Cleaning niches and cleaning manholes are created in the secondary lining of the tunnel and are located at a spacing of about 60m. The manholes in the cleaning niches are provided with a horizontal lockable waterproof composite cover. The cleaning manholes outside the niches – the drainage cleaning – (in the locations of lay-bys and in the place of the escape path) are closed by a lockable, watertight cast iron cover. The drainage cleaning manholes dimensions will be 600 × 800mm. The surface of the cunette in the cleaning manholes is treated with a 2mm thick layer of polymer concrete.



Obr. 3 Pohľad na východný portál tunela Prešov
Fig. 3 View of the eastern portal of the Prešov tunnel

prefabrikát (VII-4-O) s obrubníkom výšky 15 cm. V mieste núdzových záливov a priečných prepojení sú štrbinové prefabrikáty profil VII-4 kombinované s profilom V-1 bez obrubníka s prerušovanou štrbinou kvôli priečnému prejazdu. Potrubie štrbinového žlabu VII-4, pri sklone 2,8 % má kapacitu 108 l/s. Uvedená kapacita potrubia spĺňa požiadavku vzorových listov pre tunely VL-5, ktorá je 100 l/s pri drsnosti potrubia 0,8 mm.

Na čistenie žlabov sú navrhnuté sifónové šachty dĺžky 2,0 m. Sifónové šachty sú umiestňované každých cca 60 m. V miestach zmeny sklonu vozovky sú štrbinové prefabrikáty ukončené sifónovými šachtami, tie sú následne prepojené naprieč vozovkou dvojicou rúr profilu DN 250. Rúry pod vozovkou sú uložené na podkladnom betóne a obetónované betónom triedy C16/20.

Na najnižšom mieste oboch tunelových rúr na východnom portáli je odvodnenie vozovky ukončené vpustovými šachtami. Z nich sa odvodnenie vozovky napája na vonkajšie kanalizačné potrubie a voda sa odvádza cez stavidlovú šachtu buď do odlučovača ropných látok, alebo do havarijnej nádrže.

Havarijná nádrž slúži na zachytenie znečistených vôd z tunela a dočasnú akumuláciu v prípade umývania tunelového ostena a v prípade havárie. Z havarijnej nádrže budú vody vyčerpané a následne odvezené na zneškodnenie. Havarijná nádrž je realizovaná ako prefabrikovaná s pôdorysnými rozmermi 8,6 m × 5,5 m, s objemom 105 m³.

VOZOVKA V TUNELI

Zmeny technických predpisov i zmeny technických riešení súvisiacich objektov vyvolali aj zmeny technického riešenia vozovky s cementobetónovým krytom v úseku tunela. Úprava technického riešenia vozovky zahŕňa:

- zrušenie šachiet vo vozovke v tuneli;
- zmenu škárovezu vozovky na základe zmeny blokovej schémy tunela;
- úpravu konštrukcie cementobetónového krytu na základe nového výpočtu a na základe požiadaviek TKP Časť 26 Tunely.

Zmena riešenia drenážneho odvodnenia mala za následok zmenu v projektovom riešení vozovky, keď boli vylúčené poklopy šachiet vo vozovke, ktoré z dlhodobého hľadiska predstavujú jeden z najcitlivejších detailov vozovky. Ďalšou zmenou bola zmena nosnej konštrukcie vozovky s cementobetónovým krytom, ktorej skladba je po optimalizácii v dokumentácii na vykonanie prác takáto (platí pre razený tunel) – Tab. 1.

Tab. 1 Skladba vozovky s cementobetónovým krytom

Cementobetónový kryt dvojvrstvový 190/50 mm CB I (H) – CI 0,4 – Dmax 8 – S1 CB I (S) – CI 0,4 – Dmax 32 – S1	CB I	240 mm
Cementom stmelená zmes	CBGM C _{5/6}	220 mm
Štrkodrvina	UM ŠD, 0/31.5 Gc	min. 390 mm

Uvedená skladba bez drenážnej vrstvy s modifikovanou hrúbkou cementom stmelenej zmesi je použitá aj v úsekoch hĺbených tunelov a núdzových záливov.

Podkladom pre konštrukčné vrstvy vozovky v razenom tuneli bola zemná pláň zapečatená výplňovým betónom triedy C12/15 X0, hrúbky min. 100 mm, so sklonom 5 % smerom k odvodneniu pláne.

Pravidelná vzdialenosť priečných škár v kryte vozovky je 4,0 m, pričom v blokoch atypických dĺžok bola maximálna vzdialenosť škár 4,5 m. Priečne škáry v kryte vozovky boli v zmysle požiadaviek

The side drainage of escape paths is formed by circular profile SN8 DN 160 PVC pipes, perforated in the upper part (220°). The pipeline is connected to the side drainage of the tunnel tubes via cleaning manholes.

Drainage of the roadway bed (drainage layer) is ensured by circular profile SN8 DN 160 PVC pipes with perforation (220°). This pipeline is connected to the drainage cleaning manholes.

Since the tunnel runs along its entire length on a downward incline from west to east, the discharge point of ground water collected in the drainage is located at the eastern portal of the tunnel (see Fig. 3). There, water flows from the side drains of the two tunnel tubes join and continue into the Torysa River through a sludge shaft. Based on the results of the water analyses, no treatment was required before the discharge to the recipient.

ROADWAY DRAINAGE

Massive circular cross-section slotted drainage pipes with a continuous slot, connected by a neoprene seal, were designed for the roadway drainage. Inverted siphon pipes were designed instead of siphon manholes. Because the contractor selected a manufacturer of pre-cast slotted drain pipes with a different solution during the construction, this solution was incorporated into the detailed design.

The modification of the technical solution included a change in the shape of the slotted pipes, replacement of cleaning siphons with siphon manholes, change to slotted pipes with a continuous slot with tongue and groove joints and also adjustment of the length of pre-cast tubes to 2.0m based on requirements of the Technical Specification Part 26 Tunnels issued in 2017.

Slotted drain pipes with a 15cm high kerb – profile VII-4-30/30 made of C45/55, XD3, XF4 concrete – were designed for the drainage of the road surface. The slotted pipes are placed on the lower side of the roadway, in a length arrangement of 6 × 2.0m in one concrete casting block of the secondary tunnel lining. On the opposite side of the road there is a 15cm high pre-cast concrete kerb (VII-4-O). In the locations of emergency lay-bys and cross passages, the pre-cast concrete sections of kerbs profile VII-4 are combined with the V-1 profile without a kerb and with the slot interrupted due to the transverse passage of vehicles. The slotted pipeline VII-4, sloping at 2.8%, has a capacity of 108L/s. The above mentioned pipeline capacity meets the requirement of the standard sheets for VL-5 tunnels, which is 100L/s at a pipe roughness of 0.8mm.

Siphon manholes with a length of 2.0m are designed for cleaning the slotted pipes. The siphon manholes are spaced at ca 60m. In places where the slope of the roadway changes, the pre-cast slotted pipes are terminated by siphon manholes, which are subsequently connected with each other across the roadway by a pair of DN 250 profile pipes. The pipes under the roadway are laid on blinding concrete and are encased in C16/20 class concrete.

At the lowest points of both tunnel tubes at the eastern portal, the drainage of the roadway is terminated by inlet shafts. From these shafts, the roadway drainage is connected to the external sewer and water is drained through the sluice gate chamber either to the oil separator or to the emergency basin.

The emergency basin is used to capture polluted water from the tunnel and temporary accumulation in the event of washing the tunnel lining and in the event of an accident. The water will be pumped from the emergency basin and then carried away for disposal. The emergency basin is a pre-cast concrete structure, with ground plan dimensions of 8.6m × 5.5m. Its volume amounts to 105m³.



Obr. 4 Západný portál tunela a nadväzujúci most
Fig. 4 Western portal of the tunnel and the adjoining bridge

TKP 26 umiestnené vždy v mieste škár medzi blokmi sekundárneho ostenia, preto aj drobné zmeny blokovej schémy vyvolali potrebu zmeny škárorezu. Maximálne rozmery dosky krytu vozovky sú teda $3,625 \times 4,50$ m. Pozdĺžna rezaná škára cementobetónového krytu je vystužená kotvami z hrebienkovej ocele zn. B500 B, $\varnothing 16$ mm, dĺžky 800 mm, pričom kotvy sú opatrené plastovým povlakom v dĺžke 200 mm symetricky ku stredu kotvy. Vzájomná vzdialenosť kotiev je 1,0 m. Priečne rezané škáry sú vystužené poplastovanými klznými trňmi z ocele s hladkým povrchom zn. S235 JR, $\varnothing 25$ mm, dĺžky 500 mm. Vzájomná vzdialenosť klzných trňov je 250 mm v pomalom pruhu a 500 mm v rýchлом pruhu vozovky. Všetky priečne a pozdĺžne rezané škáry sú chránené tesniacim profilom. Od obrubníkových prefabrikátov sú dosky cementobetónového krytu a cementom stmelená zmes oddelené dilatnými vložkami z polystyrénu hr. 15 mm. Obrubníkový prefabrikát je osadený v jednej úrovni s cementobetónovým krytom, štrbinový žlab je osadený o 5 mm nižšie ako cementobetónový kryt.

Povrchová úprava cementobetónového krytu bola realizovaná technológiou vymývajúceho betónu, t. j. bol použitý kryt s obnaženým kamenivom. Na vozovku s cementobetónovým krytom v tuneli nadväzuje na západnom portáli dvojpoľový most, ktorý je prvý most na Slovensku s betónovou vozovkou (obr. 4).

CHODNÍKY S KÁBLOVÝMI TRASAMI

K zmenám oproti dokumentácii na ponuku došlo aj v technickom riešení chodníkov, kde bola zapracovaná zmena prefabrikátu odvodnenia vozovky, ale najmä boli vznesené nové požiadavky na počty a profily káblových chráničiek. Vzhľadom na zvýšené požiadavky na množstvo napájajúcich aj oznamovacích káblových vedení musela byť upravená aj trasa chráničiek pre optické káblové vedenia, ktorá bola z priestoru chodníkov presunutá do podlažia vozovky. Doplnenie trás pre káblové vedenia sa týkalo aj priečnych prepojení, kde pribudli NN rozvádzače z dôvodu zmeny riešenia vetrania priestoru chránenej únikovej cesty medzi dvojicou stien.

Obe tunelové rúry sú vybavené pravým aj ľavým núdzovým chodníkom min. šírky 1,0 m. Chodníky sú vymedzené štrbinovým žlabom alebo prefabrikovaným obrubníkom a sekundárnym ostiením tunela. Pochôdzna vrstva chodníkov je navrhnutá ako

ROADWAY IN THE TUNNEL

Changes in technical regulations as well as changes in the technical solutions to related objects also caused changes in the technical solution to the roadway with a concrete cover in the motorway section comprising the tunnel. The modification of the technical solution to the roadway includes:

- omission of manholes in the roadway inside the tunnel;
- change in roadway joints layout based on the change in the tunnel block diagram;
- modification of the structure of the concrete cover on the basis of a new calculation and on the basis of the requirements of Technical Specifications Part 26, Tunnels.

The change in the solution to the drainage system resulted in a change

in the design for the roadway, where the manhole covers in the roadway were excluded, which in the long run represents one of the most sensitive details of the roadway. Another change lay in the change in the load-bearing structure of the roadway with a cement-concrete cover, the composition of which is, after optimization in the detailed design, as follows (applies to the mined tunnel) – Table 1.

Table 1 Composition of the pavement with cement-concrete cover

Double-layer concrete cover 190/50mm CB I (H) – C1 0.4 – Dmax 8 – S1 CB I (S) – C1 0.4 – Dmax 32 – S1	CB I	240mm
Cement bound mixture	CBGM C _{5/6}	220mm
Crushed gravel	UM CG, 0/31.5 grain size	min. 390mm

The above-mentioned composition without a drainage layer with modified thickness of the cement-bonded mixture is also used in sections formed by cut-and-cover tunnels and emergency lay-bys.

The sub-grade for the structural layers of the roadway in the mined tunnel was sealed with C12/15 X0 class mass fill concrete, minimal thickness of 100mm, with a slope of 5% towards the drainage of the road bed.

The transverse joints in the roadway cover are spaced regularly at 4.0m, while in atypically long blocks the maximum spacing of the joints was 4.5m. In accordance with the requirements of Technical Specifications 26, the transverse joints in the roadway cover were always carried out in the locations between the concrete casting blocks of the secondary lining, therefore even small changes in the block diagram caused the need to change the joints layout. The maximum dimensions of the roadway cover are therefore 3.625×4.50 m. The longitudinally cut joint in the concrete cover is reinforced with 800mm long B500 B deformed steel anchors, $\varnothing 16$ mm, length 800mm. The anchors are provided with a 200mm long plastic coating, symmetrically to the anchor middle. The anchors are spaced at 1.0m. Transversally cut joints are reinforced with S235 JR plastic-coated slipping steel dowels $\varnothing 25$ mm, length 500mm, with a smooth surface. The slipping dowels are spaced at 250mm in the slow lane, respectively 500mm in the fast lane of the

cementobetónový kryt C25/30 – XF2 hrúbky 120 mm so zdrsnením a v úsekoch 300 m od portálov cementobetónový kryt C30/37 – XF4. Styk chodníka so sekundárnym ostením a obrubníkom, resp. štrbinovým žlabom, je riešený drážkou vyplnenou polyuretánovým tmelom. V mieste všetkých priečných prepojení je chodník prerušený a do úrovne vozovky priečného prepojenia napojený rampou so sklonom 1:10.

Na vonkajšej strane tunelových rúr je v oboch rúrach uložených 14 ks chráničiek DN 110 a 4 ks chráničiek DN 160. Na vnútornej strane tunelových rúr je uložený 1 ks DN 63, 4 ks DN 110, 2 ks DN 125 a 3 ks DN 160. Káblové chráničky v tuneli sú obetónované betónom C16/20 – X0. V ľavej tunelovej rúre v ľavom chodníku je vedľa základového pásu pod vozovkou uložených 13 ks chráničiek HDPE DN 40. Tieto slúžia pre umiestnenie diaľkových optických vedení.

V oboch chodníkoch sa v miestach chráničiek v sekundárnom ostení a tiež v pravidelných vzdialenostiach nachádzajú káblové šachty prekryté spravidla dvomi železobetónovými poklopmi. Káblové šachty sa nachádzajú aj v mieste SOS výklenkov a výklenkov pre hydranty požiarneho vodovodu. Na strane prefabrikovaného obrubníka (resp. štrbinového žlabu) je poklop uložený na ozube prefabrikátu prostredníctvom ložiska z pásovej gummy. Na strane sekundárneho ostenia je poklop uložený na betónový úložný ozub s podbetónovaním a ložiskom z pásovej gummy. Šachty sú chránené pred vniknutím vody tesnením poklopu po celom obvode polyuretánovým tmelom. Prípadné priesaky do káblovej šachty sú odvedené do odvodnenia pláne vozovky prostredníctvom nopovej fólie uloženej pod prefabrikátom v najnižšom bode dna šachty.

Súčasťou objektu vozovka a chodníky sú aj tlmiče nárazov v núdzových zálivoch umiestnené pred čelnou stenou zálivu (obr. 5).

POŽIARNY VODOVOD V TUNELI

Zabezpečenie požiarnej vody pre tunel Prešov je tvorené systémom potrubí požiarneho vodovodu v tuneli a nádržou objemu 160 m³ s automatickou tlakovou stanicou, ktorá sa nachádza v technologickej centrále Západ. Zdrojom vody pre nádrž je vodovodná prípojka privádzajúca vodu z verejnej vodovodnej siete. Ide o trvale zavodnený požiarne vodovod, kde tlak v potrubí musí byť v rozmedzí 0,6–1,0 MPa. Prietok vody má byť v množstve 20 l/s, počas trvania 120 min.

Zmeny počas výstavby boli najskôr iniciované objednávateľom, ktorý požadoval doplnenie nezavodnených potrubí do priečných pre-

roadway. All transversally and longitudinally cut joints are protected by sealing gaskets. Concrete cover slabs and the cement-bonded mixture are separated from the pre-cast concrete kerbs by 15mm thick polystyrene expansion strips. The pre-cast concrete kerbs are placed at one level with the concrete cover, the slotted drainage pipes are placed by 5mm lower than the concrete cover.

The surface treatment of the concrete cover was carried out using the washed concrete surface technique, i.e. the cover with exposed aggregate surface.

The roadway with a concrete cover in the tunnel links at the western portal to a two-span bridge, which is the first bridge in Slovakia with a concrete roadway (see Fig. 4).

WALKWAYS WITH CABLE RUNS

Compared to the tender design, there were also changes in the technical solution to walkways, where a change in the pre-cast concrete roadway drains was incorporated, but, in particular, new requirements were raised for the numbers and profiles of cable protecting pipes. With respect to the increased requirements for the number of supply and announcement cable lines, the route of protecting pipes for optical cable lines had to be modified. It was moved from the walkway area to the roadway sub-grade. The addition of routes for cable lines also concerned cross passages, where LV switchboards were added due to a change in the solution to the ventilation of the protected escape path between a pair of walls.

Both tunnel tubes are provided with right-hand and left-hand emergency walkways 1.0m wide as a minimum. The edge of the walkways is defined by the slotted drain or pre-cast concrete kerb and the tunnel secondary lining. The walkable layer of the walkways is designed as a roughened 120mm thick C25/30 – XF2 concrete cover, which is made of C30 / 37 – XF4 concrete in sections 300m long from the portals. The contact of the walkway with the secondary lining and the kerb or slotted drain is solved by a groove filled with polyurethane sealant. In the locations of all cross passages, the walkway is interrupted. It is connected to the level of the roadway in the cross passage by a ramp with a slope of 1:10.

On the external side of the tunnel tubes, there are 14 pieces of DN 110 and 4 pieces of DN 160 protecting pipes, respectively, in both tubes, whilst 1 piece of DN 63, 4 pieces of DN 110, 2 pieces of DN 125 and 3 pieces of DN 160 protecting pipes are installed on the internal side of the tunnel tubes. Cable protecting pipes in the tunnel are encased in C16/20 – X0 concrete. In the left-hand tunnel tube, in the left-hand walkway, 13 pieces of HDPE DN 40 protecting pipes are placed next to the side wall footing under the roadway surface. They are used for placing long-distance optical lines.

In both walkways, there are cable manholes, usually covered with two reinforced concrete covers, in the places of protecting pipes in the secondary lining and also at regular spacing. Cable manholes are also located in the emergency call niches and niches for fire water hydrants. On the side of the pre-cast concrete kerb (respectively slotted drainage pipes), the cover is mounted on the extended edge of the kerb by means of a rubber band bearing. On the side of the secondary lining, the cover is mounted on the protruding concrete bed and a rubber band bearing. The manholes are protected against water intrusion by sealing the cover around the entire perimeter with polyurethane sealant. Potential leaks into the cable manhole are led to the drainage of the roadway bed by means of a dimpled sheet membrane placed under the pre-cast concrete structure at the lowest point of the manhole bottom.

The roadway and walkways of the object also include shock absorbers in emergency lay-bys located in front of the transverse end wall of the lay-by (see Fig. 5).



Obr. 5 Tlmíčov nárazov v núdzovom zálive

Fig. 5 Shock absorber in an emergency stopping lay-by

pojení, slúžiacich na dodávku požiarnej vody z rúry nezasiahnujej požiarom. Ďalšie zmeny súviseli s požiadavkou zhotoviteľa na zapracovanie konkrétneho materiálového riešenia do dokumentácie na vykonanie prác, pričom bolo potrebné zapracovať aj všetky zmeny súvisiacich častí stavby, napríklad priečných prepojení a chodníkov v tuneli.

Vlastné rozvodné potrubie požiarneho vodovodu je vedené v priestore tunela v kanáliku pod chodníkom. Potrubie je realizované z hrdlových rúr, z tvárnej liatiny triedy C25 s priemerom DN 150 mm a tlakovou triedou PN 16. Vonkajšia povrchová úprava rúr je typu Bio Zinalium prekrytá akrylátovým náterom. Vnútorňa povrchová úprava je termoplastický polymér. Armatúry sú prírubové, z tvárnej liatiny triedy C40.

Pre zabezpečenie vodovodného potrubia proti zamrznutiu v zimnom období je potrubie požiarneho vodovodu vyhrievané samoregulačným odporovým káblom. Potrubie je v kanáliku zaliate tepelnou izoláciou v min. hr. 50 mm. Vodovodné potrubie je vedené cez káblové šachty, ako aj popri šachtách na čistenie drenáže a v miestach priečných prepojení v PVC chráničke DN 270. V chráničkách je potrubie izolované vinutou tepelnou izoláciou.

Na trasách vodovodu v oboch tunelových rúrach sú osadené spolu 4 trasové uzávery (dva v každej tunelovej rúre), ktoré sú umiestnené v samostatných výklenkoch. Zavodnený požiarly vodovod je rozdelený na 8 samostatných sekcií, pričom dĺžky jednotlivých sekcií nepresahujú 600 m.

Požiarne výklenky sú otvorené a bez vystrojenia pre požiarly zásah, ktoré je uložené v skrini v každom priečnom prepojení. Vo výklenku je osadený tunelový hydrant DN 80 PN 16 s možnosťou pripojenia hadíc 1 × B a 2 × C pred každou prírubou. Na pripojenie požiarnej hadice je osadený ovládací ventil. Hydrant je proti zamrznutiu chránený navíjanou tepelnou izoláciou do výšky 400 mm nad chodník. Spolu je v oboch tunelových rúrach osadených 34 ks hydrantov v požiarlych výklenkoch.

Na oboch portáloch tunela sa v blízkosti nástupnej plochy nachádza odberné miesto pre plnenie požiarnej a záchrannej techniky vodou, pre vykonanie zásahu. Plniace miesta sú tvorené nadzemnými hydrantmi DN 100 PN 16 s prírubami 2 × B + 1 × A so zemnou súpravou so samostatným ručne riadeným uzáverom.

Vzhľadom na výškový rozdiel portálov tunela a potreby zabezpečenia tlaku v potrubí v rozmedzí 0,6–1,0 MPa bolo potrebné rozdelenie systému požiarneho vodovodu do dvoch tlakových pásiem s redukciou tlakov v strede tunela. Každé tlakové pásmo je zokruhované. Na účel umiestnenia redukčných zostáv boli v priečnom prepojení PP-CH4 nachádzajúcom sa približne 1 km od západného portálu tunela vybudované špeciálne miestnosti. Zostava na redukciu tlaku obsahuje ventil na redukciu tlaku s meraním a diaľkovým



Obr. 6 Zostava na redukciu tlaku požiarneho vodovodu

Fig. 6 Assembly for reduction of pressure in fire water supply system

FIRE WATER SUPPLY IN TUNNEL

The provision of fire water for the Prešov tunnel consists of a system of fire water pipelines in the tunnel and a reservoir with a volume of 160m³ with an automatic booster pump station, which is located in the services centre West. The source of water for the reservoir is a pipeline supplying water from the public water supply network. It is a permanently wet fire water supply system, where the pressure in the pipeline has to be within the range of 0.6–1.0MPa. The water flow rate should be 20L/s and last for 120 minutes.

The changes during construction were first initiated by the client, who requested the addition of dry pipelines to the cross passages to be used for supplying fire water from the tube not affected by the fire. Other changes were connected with contractor's requirement to incorporate a specific solution to materials into the detailed design. It was necessary to incorporate all changes in the related parts of the construction, such as cross passages and walkways in the tunnel.

The fire water distribution pipeline in the tunnel itself is led in a duct under the walkway. Socketed pipes made of C25 class ductile iron with a DN 150mm diameter and PN 16 pressure class are used for the pipelines. The outer surface of the pipes is provided with Bio Zinalium covered with acrylic coating. The inner surface is treated with a thermoplastic polymer. The fittings are flanged, made of C40 grade ductile iron.

To secure the water supply pipelines against freezing in winter, the fire water supply pipelines are heated by a self-regulating resistance cable. The pipeline in the duct is encased in thermal insulation minimally 50mm thick. The water supply pipelines are led through cable manholes, as well as along the drainage cleaning manholes and, in the locations of cross passages, in DN 270 PVC protecting pipes. In the protecting pipes, the pipeline is insulated with thermal insulation wound around.

A total of 4 route locks (two in each tunnel tube) are installed on the water supply routes in both tunnel tubes. They are located in separate niches. The wet fire water supply pipeline is divided into 8 separate sections. The lengths of the individual sections do not exceed 600m.

Fire protection niches are open and do not contain fire fighting equipment. The equipment is stored in a cabinet in each cross passage. A tunnel hydrant DN 80 PN 16 is installed in the niche, with the possibility of connecting 1 × B and 2 × C fire hoses before each flange. Tunnel hydrants DN 80 PN 16 allowing for connecting 1 × B



Obr. 7 Suchovod v priečnom prepojení

Fig. 7 Dry fire main in a cross passage



Obr. 8 Operátorské pracovisko v SSÚD Prešov

Fig. 8 Operator station in the Prešov Centre of Administration and Maintenance of Motorways

prenosom záznamu o veľkosti tlaku v potrubí. Redukčný ventil DN 150 má tieto parametre: vstupný tlak 1,0 MPa, výstupný tlak 0,6 MPa, prietok 20 l/s. Zostava obsahuje lapač nečistôt, dva ručné uzávery a dva automatické dvojfunkčné odvzdušňovacie a privzdušňovacie vzdušníky (obr. 6).

Nezavodnený požiarny vodovod v priečných prepojeniach je tvorený potrubím DN 150 PN 16 z nehrdzavejúcej ocele. Potrubie je uložené vo výške 1,1 až 1,4 m nad zemou, na klzných podperách ukotvených do ostenia (obr. 7). Oba konce sú ukončené v tunelových rúrach, tesne po prechode protipožiarnou stenou, polspojkou 75B so záslepkou.

ZÁVER

Tunel Prešov je prvým z troch tunelov na diaľnici a rýchlostných cestách tvoriacich obchvat mesta Prešov. Ďalšími tunelmi by mali byť tunel Bikoš na I. etape severného obchvatu R4, ktorého výstavba v súčasnosti prebieha, a tunel Okruhliak na II. etape severného obchvatu, kde sa očakáva vyhlásenie verejného obstarávania. Všetky tieto tunely by mali byť riadené zo strediska správy a údržby Prešov, kde je už dnes pripravené operátorské pracovisko (obr. 8). Toto by sa v budúcnosti malo stať regionálnym operátorským pracoviskom, z ktorého budú riadené všetky diaľničné tunely regiónu východného Slovenska.

Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ,
frankovsky@dopravoprojekt.sk,

Ing. ADRIANA JAKUBÍKOVÁ, jakubikova@dopravoprojekt.sk,

Ing. ROMAN ŠÁLY, saly@dopravoprojekt.sk,

Ing. JÁN ZAJAC, zajac@dopravoprojekt.sk,

DOPRAVOPROJEKT, a.s.

Recenzoval *Reviewed:* Ing. Martin Srb, Ph.D.

and 2 × C hoses before each flange are installed in niches. A control valve is fitted to connect the fire hose. The hydrants are protected against freezing by thermal insulation wound around up to a height of 400mm above the walkway. A total of 34 are installed hydrants in fire niches in both tunnel tubes.

At both tunnel portals, there is a water taking point near the mustering area for filling fire fighting and rescue equipment with water required for the intervention. The filling points consist of above-ground hydrants DN 100 PN 16 with 2 × B + 1 × A flanges with a portable valve actuator and a separate manually controlled shut-off valve.

With respect to the height difference between the tunnel portals and the need for ensuring pressure in the pipeline within the range of 0.6–1.0MPa, it was necessary to divide the fire water supply system into two pressure zones with pressure reduction in the middle of the tunnel. Each pressure zone forms a circle. For the purpose of placing the reduction assemblies, special rooms were built in the cross passage PP-CH4 located approximately 1 km from the western portal of the tunnel. The pressure reduction assembly comprises a pressure-reducing valve allowing for measuring and remote transmission of the pressure recorded in the pipeline. The DN 150 pressure-reducing valve has the following parameters: inlet pressure 1.0MPa, outlet pressure 0.6MPa, flow rate 20L/s. The assembly contains a collector of contaminants, two manual locks and two automatic two-function air-relieving and air-adding valves (see Fig. 6).

The wet water main in the cross passages consists of stainless steel DN 150 PN 16 pipes. The pipeline is laid at a height of 1.1 to 1.4m above the bottom, on sliding supports anchored to the lining (see Fig. 7). Both ends are terminated in tunnel tubes, just after the passage through a fire break, by a half coupling 75B with a blind flange.

CONCLUSION

The Prešov tunnel is the first of three tunnels on the motorway and express highways forming the bypass of the town of Prešov. The Bikoš tunnel on stage I of the R4 northern bypass, which is currently under construction, the Okruhliak tunnel on stage II of the northern bypass, where a public procurement is expected, should follow. All these tunnels should be managed from the Prešov administration and maintenance centre, where the operator station has already been prepared (see Fig. 8). In the future, this should become a regional operator workplace, from which all motorway tunnels in the eastern Slovakia region will be managed.

Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ,
frankovsky@dopravoprojekt.sk,

Ing. ADRIANA JAKUBÍKOVÁ, jakubikova@dopravoprojekt.sk,

Ing. ROMAN ŠÁLY, saly@dopravoprojekt.sk,

Ing. JÁN ZAJAC, zajac@dopravoprojekt.sk,

DOPRAVOPROJEKT, a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] JUHÁS, B., KOPČÁK, J., FRANKOVSKÝ, M. Diaľnica D1 Prešov, západ – Prešov, juh. *Inžinierske stavby*, 2021, roč. 69, č. 5, s. 8–12
- [2] FRANKOVSKÝ, M., ŠÁLY, R., JIŘIČNÝ, F. Tunel Prešov, jeden z chýbajúcich tunelov na diaľnici D1. *Tunel*, 2016, roč. 25, č. 4, s. 33–40
- [3] KUBIŠ, M., MAJERČÁK, J., COPLÁKOVÁ, J., GREŇČÍKOVÁ, A. Tunel Prešov – interpretácia výsledkov inžiniersko-geologického prieskumu. *Tunel*, 2016, roč. 25, č. 1, s. 4–12
- [4] BŘIČHNÁČ, J., HYBSKÝ, P. Realizace sekundárního ostění tunelu Prešov. *Tunel*, 2020, roč. 29, č. 4, s. 22–30

FOTOREPORTÁŽ ZO SLÁVNOSTNÉHO OTVORENIA DIAĽNICE D1 PREŠOV ZÁPAD – PREŠOV JUH S TUNELOM PREŠOV DŇA 28. OKTÓBRA 2021

PICTURE REPORT FROM CELEBRATORY INAUGURATION OF PREŠOV WEST – PREŠOV EAST MOTORWAY WITH PREŠOV TUNNEL ON 28TH OCTOBER 2021

FOTO ARCHÍV DOPRASTAV, A.S.
PHOTO ARCHIVE DOPRASTAV, A.S.



Obr. 1 Priestor pre hostí slávnosti na západnom portáli tunela Prešov
Fig. 1 Space for guests at the western portal of the Prešov tunnel



Obr. 2 Pohľad dovnútra tunela
Fig. 2 A view down the tunnel



Obr. 3 Otvorenia sa zúčastnili predstavitelia štátu, samosprávneho kraja
i mesta Prešov
Fig. 3 Inauguration was attended by representatives of the state



Obr. 4 Slávnostné strihanie pásky
Fig. 4 Celebratory cutting of the tape



Obr. 5 Portál južnej tunelovej rúry
Fig. 5 Portal of southern tunnel tube



Obr. 6 Diaľnica v smere od tunela na západ
Fig. 6 Motorway in the south-west direction



SÚRAO

SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ
RADIOAKTIVNÍCH
ODPADŮ

LETNÍ ŠKOLA 5 SÚRAO

Téma: **Projektové řešení
hlubinného úložiště**

Jak se připravuje hlubinné úložiště? Jak se vybírá vhodná lokalita pro jeho umístění? K čemu slouží inženýrské bariéry? Jak fungují úložiště, která už v České republice máme? A jaký je to pocit, když nad sebou máte 500 metrů horniny? To všechno, a ještě mnohem více, zjistíte, když se přihlásíte na 5. ročník Letní školy SÚRAO.

Dozvíte se:

- Jak se projektuje jaderné zařízení, které je zároveň rozsáhlou podzemní stavbou.
- Jak připravit stavbu, jejíž bezpečnost musíme prokázat po milion let.
- Proč jsou horninová prostředí a přírodní materiály klíčem k dlouhodobé bezpečnosti.
- Proč hlubinné úložiště není jenom tunel a že na způsobu jeho ražby záleží.
- Proč je návrh povrchového areálu práce nejen pro architektky.
- Jak probíhá proces EIA.
- Jak se připravuje geologický průzkum.
- Jak se plánuje rozpočet úložiště a jaké položky v něm najdeme.
- Že není beton jako beton a na chemii stavebních materiálů opravdu záleží.
- A proč je výzkum a vývoj tak důležitý.

A kromě toho sfáráte do naší speciální podzemní laboratoře, navštívíte jedno z českých úložišť a seznámíte se i s dalšími aspekty největšího projektu na ochranu životního prostředí naší generace.

Účast je zdarma. Pro mimopražské účastníky zajistíme ubytování.

18.–22. července 2022

Jste-li studentem doktorského, magisterského, či 3. ročníku bakalářského studia, zašlete nám svůj životopis na kasparova@surao.cz a napište do těla emailu, proč vás Letní škola SÚRAO zaujala a proč byste se rádi zúčastnili. Dejte nám o sobě, prosím, vědět nejpozději **do 10. května 2022.**



PVP Bukov



15. MEZINÁRODNÍ KONFERENCE PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2023

29.–31. 5. 2023 | CLARION CONGRESS HOTEL PRAGUE



ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB THE WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

■ Zahájení ražby prvního úseku vysokorychlostní železnice v UK

Ve Velké Británii byla zahájena stavba prvního úseku vysokorychlostní železnice. Konkrétně se jedná o ražbu 16 km dlouhého tunelu, který prochází křídovými usazeninami s hojnými konkréciemi pазourku při nadloží až 90 m.

První nasazený tunelovací stroj pojmenovaný Florence má průměr 10,26 m. Stroj dodala firma Herrenknecht a jeho průměrný denní výkon se očekává okolo 15 m/den. Pro vystrojení tunelu se použijí železobetonové segmenty vyztužené ocelovými drátky. Vnitřní profil tunelu bude 9,1 m.

S měsíčním odstupem zahájí ražbu stroj stejné konstrukce nazvaný Cecillia. Oba stroje jsou schopné přecházet z módu zeminového štítu do módu ražby s bentonitem a obráceně. Ražba bude probíhat nepřetržitě – 24 hodin denně a 7 dní týdně.

■ TBM od firmy Robbins pracuje na stavbě vysokorychlostní železnice v Turecku

Na plánované vysokorychlostní trati délky 508 km spojující Izmir ležící na západním pobřeží Turecka s městem Polatli v regionu Ankara nedávno zahájil ražbu 3,05 km dlouhého tunelu TBM dodaný firmou Robbins. Stroj má průměr 13,77 m a je vybaven řadou konstrukčních vylepšení, aby zvládl ražbu ve velmi proměnlivých geotechnických podmínkách. Stroj bude procházet pískovci, ve kterých se očekává vysoký obsah šterkových zrn, dále jílovcí a prachovci. Vyskytovat se občas budou přítoky podzemních vod a horniny o nízké pevnosti (5 až 9 MPa).

■ Stavba 21 km dlouhé železniční trati mezi Salcburkem a Köstendorfem byla zadána

Rakouské spolkové železnice (ÖBB) zadaly zakázku na výše uvedenou stavbu JV společnosti tvořené ILF Consulting Engineers a Amberg Engineering. Součástí stavby je celkem 16,3 km dvoutrubových tunelů, které sestávají z tunelu Grafenholz délky 2 km a 14,3 km dlouhého tunelu Seekirchner. V jeho střední části se očekávají tlačivé horniny a místně silně rozrušené flyšové vrstvy. V úsecích s nízkým nadložím budou zastíženy vodonosné sedimenty. Tato rozmanitost geotechnických podmínek si vyžádá nasazení různých tunelovacích postupů.

■ Nejdelší norský podmořský tunel

Správa norských veřejných komunikací pozvala dodavatele, poddodavatele a konzultanty na on-line informační setkání, které bylo zaměřeno na modernizaci silnice E39 v úseku Alesund-Molde. Setkání se konalo 21. června 2021.

Úsek je dlouhý 75 km, propojí města na západním pobřeží Norska a vyřadí z provozu tři přívozy. Součástí stavby bude nejdelší norský podmořský tunel dlouhý 14,5 km.

■ Mimořádná událost v Jeruzalémě

Na parkovišti jeruzalémské nemocnice se náhle vytvořila velká jáma, ve které během patnácti vteřin zmizely tři automobily. Stalo se to 7. června 2021 a vznik jámy zřejmě souvisí s ražbou tunelu pro úsek dálnice č. 16, který částečně zkolaboval právě v blízkosti nemocnice a jejího parkoviště. V rámci této události nebyl nikdo zraněn.

■ Skelná drť jako náhrada kameniva do stříkaného betonu

Na australské univerzitě v Queenslandu se zkoumá možnost nahradit písek skelnou drť jako kamenivo do stříkaného betonu. Skelná drť by se získávala rozdrčením odpadního skla, např. lahví od vína. Podnětem náhrady písku skelnou drťí je snižování celosvětových zásob písku a trvalý růst jeho ceny. Podle údajů ze zmíněné univerzity cena písku v posledních dvaceti letech vzrostla šestinásobně.

■ Důl na polyhalit

V Tunelu č. 4/2019 jsme se zmínili o firmě Strabag, která pracuje na mimořádném důlním projektu, který v anglickém Yorkshiru připravuje těžbu velkého ložiska kvalitního polyhalitu. Polyhalit je hydratovaný síran draslíku, vápníku a hořčíku a jeho ložisko vzniklo vypařením slané vody, podobně jako kamenná sůl NaCl. Polyhalit se používá jako kvalitní průmyslové hnojivo.

Ložisko polyhalitu má mocnost až 50 m a leží v hloubce 1600 m pod povrchem terénu, který je ale součástí chráněné přírodní lokality. Pro otevření ložiska byly vyhloubeny dvě šachty, z nichž jedna bude sloužit pro svislou dopravu těžného materiálu, nikoliv ale až na povrch terénu. V hloubce přes 300 m bude materiál přeložen do dopravníkového systému, který bude instalován v tunelu délky 37 km. Ten dopraví těžný polyhalit k námořnímu přístavu na východním pobřeží Anglie. Než bude naložen do lodí, projde polyhalit nejprve drtičkami, pak granulací, načež bude finální produkt – granulát umístěn do skladu, odkud bude nakládán do lodí.

Stavba dolu začala v roce 2017, ale Strabag získal zakázku na tunel a dopravníkový systém v roce 2018. Pro ražbu je tunel rozdělen na tři úseky přibližné délky 12 km. Ražba pomocí dvou TBM probíhá ve vrstvě červeného jílovce a musí překonat několik poruchových zón. Maximální nadloží dosáhne 360 m.

Tunelovací stroje dodává na stavbu firma Herrenknecht. TBM mají vnější průměr 6 m, vnitřní 4,9 m. Ostění ze železobetonových segmentů tl. 350 mm bude vzdorovat tlaku podzemní vody až 29 barů.

První TBM zahájilo ražbu v červnu 2019; do října 2020 postoupilo o 10,5 km. Max. denní výkon byl 52,65 m, max. měsíční postup byl 1019 m. Rubanina je čerpána na povrch mimo prostor chráněné přírodní lokality.

■ Stavba zásobovaná helikoptérou

Jedním z nejhlubších železničních tunelů ve Velké Británii je přes sto let starý tunel Cowburn, který podchází planinu vřesovišť, která je dnes přírodní rezervací. Tunel potřebuje rozsáhlou opravu své ventilační šachty. Ta byla dokončena v roce 1896 po dvouleté výstavbě a je 241 m hluboká. Na jejím spodním konci je perfektně zachovaná 10 m vysoká komora s kamennou obezdívkou, která je označovaná jako podzemní katedrála. Její ostění je mistrovskou ukázkou práce tehdejších kameníků. Komora žádnou rozsáhlou opravu nepotřebuje.

Horší je to s cihelnou obezdívkou tělesa šachty, která je také

ukázkou dobré práce viktoriánských zedníků. Během více než jednoho století si však podzemní voda z vřesovišť bohatě zásobovaných dešťovými srážkami přes obezdívku našla cestu. Šachta dnes připomíná velkou sprchu. Voda dopadající na dvoukolejné kolejiště včetně trakčního vedení neumožňuje normální provoz.

Pro opravu obezdívky byla v šachtě vybudovaná posuvná plošina, ze které jsou rekonstrukční práce včetně drenážních svodů prováděny. S tím souvisí jedna mimořádnost – zásobování sanačních prací je s ohledem na přírodní rezervaci prováděno helikoptérou.

Ve vlastním tunelu se musí udělat nové kapacitní drenážní potrubí. Tyto práce se provádějí v noci ze soboty na neděli, kdy je zastaven železniční provoz.

■ Švýcarsko plánuje podzemní dopravu zboží a výrobků

Obě komory švýcarského parlamentu odsouhlasily zahájení přípravy sítě tunelů sloužících speciálně pro dopravu zboží a výrobků od výrobců k zákazníkům. Tunely by měly propojovat větší města, ve kterých by byly vybudovány dopravní uzly umožňující naložení či vyložení vozidel nebo jejich nasměrování na odbočující z hlavní trasy. Dopravní prostředky budou řízeny centrálně (on-line), pohybovat se budou bez řidiče. Jejich pohon bude elektrický a nakládka/vykládka bude automatizována. Pohybovat se budou v tunelu po třech jízdních pruzích a v klenbě tunelu budou ještě zavěšeny tři vysuté dráhy pro dopravu menších zásilek.

Systém by měl snížit dopravní zátěž pozemních komunikací o 30 % a hlukovou zátěž o 50 %.

Zahájeno bylo detailní projektování prvních 70 km z celkové délky sítě 500 km. První úsek bude mít 10 dopravních uzlů a spojí Härkingen-Niederbipp s Curychem. Jeho výstavba by měla proběhnout mezi léty 2026 a 2031.

Kompletní síť mezi bodamským a ženevským jezerem s odbočkami na Basel, Lucerne a Thun by měla být dokončená do roku 2045.

■ Razicí stroj do skalních hornin pro obdélníkový profil

Poslední inovací firmy Robbins je razicí stroj pro obdélníkový profil pro ražbu ve skalních horninách. Jeho vodorovná fréza je schopná razit profil 5 × 4,5 m. Stroj pracuje v nejstarším mexickém dole na stříbro, kde razí přístupový tunel v andezitu a břidlicích s výskytem křemenů. Doposud se používaly podobné stroje pro ražbu nekruhových profilů v měkkých horninách, avšak Robbins stroj označený MDM 5000 (Mine Development Machine) zkonstruoval pro ražbu ve skalních horninách. Jeho úspěšné nasazení vytvořilo primát firmy Robbins v ražbě nekruhového profilu ve skalních horninách.

Do září 2021 vyrazil tento stroj přes 1700 m obdélníkového profilu s maximálním výkonem 52 m během jednoho týdne a 191 m za jeden měsíc.

Ing. MILOSLAV NOVOTNÝ,
mila_novotny@volny.cz

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

ČESKÁ REPUBLIKA

METRO D – NOVÁ LINKA PRAŽSKÉHO METRA

Protože téměř vše, co bylo plánováno, bylo také již provedeno, tak můžeme s koncem roku 2021 s prováděním inženýrskogeologického průzkumu (IGP) pro projekt metro D závěrečně bilanovat.

Definitivně byly dokončeny všechny plánované i dodatkové

THE CZECH REPUBLIC

METRO D – NEW LINE OF PRAGUE METRO

Because almost everything that had been planned has also been carried out, we can take the final stock at the end of 2021 with the execution of the engineering geological survey (EGS) for the metro D project.

All planned and additional excavation operations necessary for



Obr. 1 Stav dokončených ražeb na PAD4 při rozšiřování profilu průzkumné štoly na budoucí tvar přestupní chodby

Fig. 1 State of the completed excavation at PAD4 during the enlargement of the exploratory gallery profile to the future shape of the transfer corridor



Obr. 2 Stav dokončených ražeb na VO-OL při rozšiřování profilu průzkumné štoly na budoucí tvar dvoukolejného traťového tunelu

Fig. 2 State of the completed excavations at VO-OL during the enlargement of the exploratory gallery profile to the future shape of the double-track running tunnel

ražby nutné pro provedení průzkumných prací (obr. 1, 2). V tuto chvíli je proto na všech takto vzniklých podzemních dílech nastaven režim údržby, který základně splňuje všechna požadovaná bezpečnostní kritéria a současně umožňuje zadavateli po předání staveniště vybranému zhotoviteli plynule pokračovat v budování celého stavebního úseku Pankrác – Olbrachtova.

Na základě dokončení IGP a vydaného pokynu byla také zahájena repasportizace všech objektů v zóně ovlivnění realizací, jejíž výsledky budou současně sloužit i jako výchozí pasport před vlastním zahájením stavby dotčeného úseku metra D.

Stále aktivní pak zůstává provádění geotechnického monitoringu, kde probíhá zejména nepřetržitě měření a sledování stavu na již provozované trase metra C, kterou právě některé ražby IGP podcházely. V prvních třech měsících tohoto roku se nakonec budou takto získané výsledky z měření zpracovávat a vyhodnocovat v závěrečných zprávách.

the survey work have been definitively completed (see Figures 1 and 2). Therefore, at the moment, a maintenance regime is set up for all underground parts which originated in this way. It basically meets all required safety criteria and, at the same time, allows the contracting authority to fluently continue building the entire Pankrác – Olbrachtova construction section after handing over the construction site to the selected contractor.

Based on the completion of the EGS and the given instruction, the repeated condition survey of all buildings in the zone affected by the operations also started. Its results will also serve as a starting result of condition survey before the actual start of the construction of the affected section of metro.

The work on the geotechnical monitoring remains active. The continuous measurement and monitoring of the condition on the already operated metro line C, which some EGS excavation activities passed under, is underway. In the first three months of this year, the gathered measurement results will finally be processed and assessed in final reports.

Further legislative preparation of the metro D project towards the overall commencement of the works continues, and we can say that, except for partial problems, successfully.

All necessary building permits for the Pankrác – Olbrachtova section have already been secured. However, the Pankrác Society, which filed an appeal with almost all key building permits issued, could not reconcile with this fact. These obstructions should be promptly, and hopefully positively for the project, solved by the relevant ministry by the end of February 2022. With respect to the state of ongoing appeal proceedings, the currently expected date of the commencement of the metro I. D construction in the Pankrác – Olbrachtova section is March 2022.

The preparation of another tender for the following section, Olbrachtova – Nové Dvory, with the excavation of running tunnels from Písnice also continues. The contracting authority started this process in the form of a preliminary market consultation (PMC) with potential future contractors. The contracting authority will then use the results obtained from the PMC to compile the correct and objective tender documents and will call for bids for the contractor for this section. The call for bids is then expected in one of the spring months of this year, so we are still keeping our fingers crossed for the Metro D project.

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

BLANSKO SINGLE-TRACK TUNNEL NO. 8/2; REG. NO. 226

In September 2021, work began on the “ADAMOV – BLANSKO, BC” construction. Its purpose is the overall reconstruction of the trackwork and partly the bottom, partially track bed, catenary system, bridges, tunnels, revetment walls and rehabilitation of rock cuttings in the track section between Adamov and Blansko. The modernization will eliminate drops in the speed limit over the track, increase safety and reliability of operation, ensure the necessary parameters for the operation of freight transport and ensure barrier-free access for people with limited mobility and orientation ability. The result will be the reduced travel times for regional, interstate and freight trains and improved passenger safety and comfort. The construction is carried out by the company of OHLA ŽS, a.s. being in the position of the of

Další legislativní příprava projektu metra D směrem k jeho celkové realizaci pokračuje, a to snad můžeme říct, že až na dílčí problémy, úspěšně dál.

Všechna potřebná stavební povolení pro úsek Pankrác – Olbrachtova byla již zajištěna. S touto skutečností se ovšem opět neuměla smířit Pankrácká společnost, která podala odvolání téměř do všech stěžejních vydaných stavebních povolení. Tyto obstrukce by mělo příslušné ministerstvo, a doufejme, že pro projekt kladně, promptně vyřešit, a to s předpokladem do konce února 2022. S ohledem na stav probíhajících odvolacích řízení je tak dnes aktuálně předpokládaným termínem zahájení stavby metra I. D v úseku Pankrác – Olbrachtova březen 2022.

Pokračuje také příprava dalšího tendru navazujícího úseku Olbrachtova – Nové Dvory s ražbami traťových tunelů z Písnice. Zadavatel zahájil tento proces formou předběžné tržní konzultace (PTK) s možnými budoucími zhotoviteli. Získané výsledky z PTK potom zadavatel využije pro sestavení správné a objektivní zadávací dokumentace a vyhlášení soutěže na zhotovitele pro tento úsek. Vyhlášení této soutěže se pak očekává již v některém z jarních měsíců tohoto roku, takže projektu Metro D stále držíme palce.

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

JEDNOKOLEJNÝ TUNEL BLANENSKÝ Č. 8/2 S E.Č. 226

V září roku 2021 byly zahájeny práce na stavbě „ADAMOV – BLANSKO, BC“, jejímž účelem je celková rekonstrukce kolejového svršku a částečně spodku, trakčního vedení, mostů, tunelů, zárubních zdí a sanace skalních zářezů na úseku trati mezi Adamovem a Blanskem. Modernizací dojde k odstranění propadů traťové rychlosti, zvýšení bezpečnosti a spolehlivosti provozu, zajištění potřebných parametrů pro provoz nákladní dopravy a zajištění bezbariérového přístupu pro osoby s omezenou schopností pohybu a orientace. Výsledkem bude zkrácení jízdních časů regionálních, mezistátních a nákladních vlaků a zlepšení bezpečnosti a komfortu cestujících. Stavbu realizuje společnost OHLA ŽS, a.s. v pozici lídra sdružení spolu s firmami FIRESTA-Fišer, rekonstrukce, stavby a.s. a TRAMO RAIL, a.s.

Z hlediska podzemního stavitelství je časově i technicky nejnáročnějším objektem rekonstrukce „nového“ tunelu pod Novým Hradem (uveden do provozu 1992). Jedná se o přeražbu jednokolejného železničního tunelu celkové délky cca 560 m, z toho ražená část má délku cca 546 m. Postupně se provádí odstranění stávajícího železobetonového segmentového ostění, rozšíření profilu a vybudování nového dvouplášťového ostění s vloženou mezilehlou izolací (obr. 3, 4). Ražba je prováděna technologií NRTM. Příčný profil výrubu tunelu je navržen od 65 m² pro profil na patkách až po 75 m² v profilu se spodní klenbou. Z geologického hlediska se tunel nachází v oblasti brněnského masivu, který je budován hlubinnými magmatickými horninami – granodiority. Horniny jsou nerovnoměrně zvětralé, výrazněji zvětralé jsou především podél puklin, kde mohou být silně až zcela zvětralé charakteru hrubozrnného písku. Kromě granodioritů je horninové prostředí budováno i silně tektonicky porušenými – tektonicky přeměněnými horninami – mylonity zelenavé barvy s výraznou usměrněnou texturou a foliačními plochami. Z hlediska hydrogeologických poměrů je prostředí skalních hornin puklinově

the consortium leader, together with the companies of FIRESTA-Fišer, rekonstrukce, stavby a.s. and TRAMO RAIL, a.s.

From the point of view of underground construction, the reconstruction of the “new” tunnel under Nový Hrad (brought into service in 1992) is the most time-consuming and technically demanding object. It is a re-excavation of a single-track railway tunnel with a total length of approximately 560m, the mined part of which is approximately 546m long. Gradually, the removal of the existing reinforced concrete segmental lining, the expansion of the cross-section and the construction of a new double-shell lining with inserted intermediate waterproofing are carried out (see Figures 3, 4). The tunnel is being excavated using the NATM. The tunnel excavation cross-sectional area ranging from 65m² for the profile with footings to 75m² for the profile with the invert is designed. From a geological point of view, the tunnel is located in the area of the Brno Massif, which is formed by deep igneous rock – granodiorite. The rock is unevenly weathered, more significantly weathered, especially along joints, where it can be heavily to completely weathered with the character of coarse-grained sand.



Obr. 3 Demolice vjezdového hloubeného tunelu, který byl tvořen krajním železobetonovým monolitickým blokem a úsekem z obetonovaných litinových tubingů

Fig. 3 Demolition of the entrance cut-and-cover tunnel, which is formed by an outer reinforced concrete monolithic block and a block lined with concrete backgrouted cast-iron segments



Obr. 4 Porovnání původního profilu se segmentovým ostěním a nově budovaného profilu zajištěného primárním ostěním

Fig. 4 Comparison of the original profile lined with segments and the newly built profile supported with the shotcrete primary lining

propustné. Podzemní voda komunikuje bez vzájemné souvislosti po puklinách.

Rozpojování hornin je prováděno mechanizovaně a v tvrdých polohách s použitím trhacích prací a mechanickým dočištěním líce výrubu. Rubanina i segmenty ostění jsou tříděny na meziděponii stavby a následně odváženy na zpracování do drtícího centra. Profil tunelu není nijak členěn. V podélném směru je vzdálenost jednotlivých čeleb (délka záběru) závislá na zastížených geologických podmínkách a je určena vystrojovací třídou výrubu, které jsou vyprojektovány čtyři. Ražba tunelu probíhá dovrchně od vjezdového portálu P1 směrem k výjezdovému portálu P2. Jako základní prvky vystrojení tunelu jsou použity stříkaný beton C 20/25 tloušťky 150 a 250 mm, betonářské sítě 6/150 x 6/150, svorníky typu SN, HUS nebo samozávrtné tyče typu R délky 4,0 m, ocelové příhradové nosníky výšky 100 a 150 mm a injektované samozávrtné jehly R32. Rozsah použití jednotlivých vystrojovacích prvků je závislý na geotechnické prognóze stability výrubu a výsledcích geotechnických měření na stavbě. V roce 2021 byla provedena demolice obou portálových tubusů a vyraženo 90 m tunelu. Ražby by měly být ukončeny v polovině roku 2022, tunel stavebně dokončen do 31. 10. 2022 a traťový provoz obnoven v prosinci 2022.

*Ing. TOMÁŠ JUST, justt@ohla-zs.cz,
OHLA ŽS, a.s.*

STAVBA I/42 BRNO – VMO ŽABOVŘESKÁ I – ETAPA II

Stavba je realizována sdružením firem Eurovia CS a.s., (lídr), HOCHTIEF CZ a. s. a Subterra a.s. Ražby tramvajového tunelu a únikové štoly byly definitivně ukončeny prorážkou únikové štoly 24. listopadu 2021.

V loňském roce byly také dokončeny betonáže sekundárního ostění kaloty tramvajového tunelu, a to zabetonováním posledního bloku č. 42 dne 20. 12. 2021. Na únikové štole ještě před vánočními svátky byla provedena betonáž sekundárního ostění prvního bloku a v hloubené severní části se provedla betonáž stropu bloků č. 60–62.

Po novém roce se vzhledem k navazujícím pracím zásypů mimo tunel provedly nutné úpravy zařízení staveniště a zároveň byly zabetonovány stěny bloku č. 1. v hloubené jižní přesýpané části tunelu.

Samozřejmě pokračují další dokončovací práce ve vlastním tunelu, kde bylo provedeno vyčištění dna a návoz šterku frakce 16–32 mm.

Na konci ledna bude zahájena betonáž podkladních betonů v celé délce tunelu s předpokladem dokončení ještě do konce ledna. V době vzniku této aktuality na konci ledna 2022 probíhaly práce na bednění stropu bloku č. 1. hloubené jižní části a dále na betonáži sekundárního ostění únikové štoly, kdy byly zabetovány bloky č. 4 až 7. Komplettní dokončení betonáží sekundárního ostění únikové štoly se předpokládá do poloviny února.

Průběžně se všemi těmito dokončovacemi pracemi se dále realizuje obsyp tunelové části drenáže a průběžné čištění spár v tunelu pro jejich následné tmelení.

Předpoklad dokončení všech prací v tunelu, s výjimkou vlastní tramvajové trati, je v březnu letošního roku.

*Ing. JAN FRANTL, jfrantl@subterra.cz,
Ing. ANDREJ KORBA, akorba@subterra.cz*

In addition to granodiorite rock types, the rock environment is also built by heavily tectonically faulted – tectonically transformed rock – green-colour mylonite with a distinctly aligned texture and foliation surfaces. As far as hydrogeological conditions are concerned, the rock environment is permeable. Groundwater communicates along fissures, without interconnections.

Rock breaking is carried out mechanically and, in hard rock positions, using blasting and mechanical scaling of the excavated surface. The muck and lining segments are sorted on the intermediate stockpile and then transported for processing to the crushing centre. The tunnel excavation profile is not at all divided. In the longitudinal direction, the length of excavation rounds depends on the encountered geological conditions and is determined by the excavation support class (four classes are designed). The tunnel excavation proceeds uphill from the entrance portal P1 towards the exit portal P2. The basic elements of the tunnel excavation support comprise 150 respectively 250mm thick layers of C 20/25 shotcrete, welded mesh 6/150 x 6/150, rock bolts type SN, hydraulically expanded or self-drilling rock bolts type R 4.0m long, 100 respectively 150mm high lattice girders and R32 grouted self-drilling needles. The scope of the use of individual support elements depends on the geotechnical prognosis of the excavation stability and the results of geotechnical measurements. In 2021, both portal tubes were demolished and 90m of the tunnel were excavated. The excavation should be finished in the middle of 2022, the civil engineering part of the tunnel will be completed by 31 October 2022 and the railway operation will be resumed in December 2022.

*Ing. TOMÁŠ JUST, justt@ohla-zs.cz,
OHLA ŽS, a.s.*

PROJECT I/42 BRNO – LCCR ŽABOVŘESKÁ I – STAGE II

The construction is carried out by the consortium consisting of the companies of Eurovia CS a.s., (leader), HOCHTIEF CZ a. s. and Subterra a.s. The excavation of the tram tunnel and the escape gallery was definitively completed by the escape gallery breakthrough on November 24, 2021.

Last year, the concreting of the secondary lining in the tram tunnel top heading was also finished by concreting the last block No. 42 on 20 December 2021. The concreting of the secondary lining of the first block of the escape gallery was finished and the roof of blocks No. 60–62 was concreted in the northern part of the cut-and-cover tunnel prior to the Christmas holidays.

After the New Year Eve, the necessary changes in the site accommodation were made due to the subsequent backfilling outside the tunnel and, at the same time, the walls of block No. 1 in the southern “false” part of the tunnel were concreted.

Of course, other finishing work operations continue inside the tunnel, where the bottom was cleaned and gravel fraction 16–32mm was brought on it.

At the end of January, the casting of the blinding concrete layer along the entire length of the tunnel will begin, with the assumption of completion by the end of January. At the time of the origination of this current news at the end of January 2022, the work on the formwork for the roof of block No.1 of the southern cut-and-cover part was underway and work was carried out on the concreting of the secondary lining of the escape gallery, where blocks No.

ŽELEZNIČNÍ TUNEL ZVĚROTICE

Dvoukolejný železniční tunel Zvěrotice délky 370 m na traťovém úseku Soběslav – Doubí je součástí IV. železničního koridoru spojujícího po dokončení Prahu s Českými Budějovicemi a dále s rakouským Lincem. Stavba se nachází v těsné blízkosti města Soběslav a trasy dálnice D3.

Portálovým blokem betonáže P2 na výjezdovém portále byla dne 6. 10. 2021 dokončena betonáž ostění tunelu. Následně došlo ve speciálně upraveném zářezu před výjezdovým portálem k demontáži bednicího vozu. Od zahájení betonáže základových pásů prvního bloku betonáže dne 5. 6. 2021 tak uplynulo téměř přesně 16 měsíců. Za tu dobu bylo na ostění použito celkem 8 450 m³ betonu a 1100 t výztuže.

V listopadu 2021 byla zahájena betonáž spádového betonu, který chrání pláň železničního svršku před degradací vlivem proudění podzemní vody a tuto vodu v jednostranném příčném sklonu odvádí do tunelové drenáže situované podél levého základového

4 through to 7 were carried out. The completion of concreting of the secondary lining of the escape gallery is expected by mid-February

Continuously, along with all this finishing work, the tunnel part of the drainage and the continuous cleaning of the joints in the tunnel for their subsequent sealing are also being carried out.

All work in the tunnel, with the exception of the tram track itself, is expected to be completed in March 2022.

*Ing. JAN FRANTL, jfrantl@subterra.cz,
Ing. ANDREJ KORBA, akorba@subterra.cz*

ZVĚROTICE RAIL TUNNEL

The 370m long double-track rail tunnel in the Soběslav – Doubí track section is part of Railway Corridor No. 4, which will, after completion, link Prague with České Budějovice and further with Linz, Austria (see Fig. 4). The construction is located near the town of Soběslav and the D3 motorway route.

On 6 October 2021, concreting of the tunnel lining was completed by the completion of the P2 portal concrete casting block at the exit portal. Subsequently, the formwork traveller was dismantled in a specially modified cutting in front of the exit portal. Almost exactly 16 months have passed since the start of concreting the strip footing of the first concrete casting block on 5 June 2021. During that time, a total of 8,450m³ of concrete and 1,100t of concrete reinforcement were used on the excavation lining.

In November 2021, the casting of sloped blinding concrete started. It protects the track formation from degradation due to groundwater flow and evacuates this water on a one-sided transverse slope into the tunnel drainage running along the left-hand strip footing of the lining. In December 2021, the entire length of the cable duct under the service walkway on the left-hand side of the tunnel was completed, and in January 2022 work is underway on the installation of protection pipes and the fire protection system pipeline under the service walkway on the right-hand side of the tunnel (see Fig. 5). Independently of the climatic conditions, work on the fastening elements of the catenary at the top of the tunnel vault is also underway inside the tunnel.

In contrast to the work inside the tunnel, the backfilling, which



*Obr. 5 Chráničky kabelovodu a potrubí požárního vodovodu
Fig. 5 Cable protection pipes and fire water pipeline*



*Obr. 6 Gabiony na vjezdovém portále
Fig. 6 Gabions at the entrance portal*

páso ostění. V prosinci 2021 byl v celé délce dokončen kabelovod pod služebním chodníkem na levé straně tunelu a v lednu 2022 probíhají práce na montáži chrániček a potrubí požárního vodu pod služebním chodníkem na pravé straně tunelu (obr. 5). Nezávisle na klimatických podmínkách probíhají uvnitř tunelu i práce na upevňovacích prvcích trakčního vedení ve vrcholu klenby tunelu.

Na rozdíl od prací uvnitř tunelu práce na zásypech, které postupují směrem od vjezdového k výjezdovému portálu, zimní období výrazně omezuje a v průběhu ledna a začátku února 2022 musely být úplně zastaveny. Po zlepšení klimatických podmínek budou společně se zasypáváním portálových úseků tunelu prováděny gabionové zdi, které jsou součástí portálových svahů. Nezávisle na počasí probíhá výstavba gabionových zdí před vjezdovým portálem, které stabilizují skalní zářez tratě na levé straně tunelu a skalní zářezy, které ohraničují nástupní plochu pro složky integrovaného záchranného systému na pravé straně tunelu (obr. 6).

Stavbu tunelu provádí subdodávkou firma HOCHTIEF CZ a. s. pro „Sdružení Soběslav – Doubí“ tvořené firmami STRABAG a.s., EUROVIA CS, a.s. a Metrostav a.s. Autorem realizační dokumentace tunelu je firma SAGASTA s.r.o.

Ing. LIBOR MAŘÍK, SAGASTA s.r.o.

SLOVENSKÁ REPUBLIKA

TUNELY NA DIALNIČNEJ SIETI

Tunel Bikoš

Po uvedení úseku diaľnice D1 s tunelom Prešov do prevádzky v októbri 2021 pokračujú práce na druhej časti obchvatu mesta, ktorý tvorí 4,3 km dlhý úsek rýchlostnej cesty R4 Prešov, severný obchvat, I. etapa. Jeho súčasťou je aj tunel Bikoš dĺžky 1155 m.

V januári 2022 pokračujú práce betonážou sekundárneho ostenia v pravej tunelovej rúre, kde je realizovaných 48 blokov. Hotové je sekundárne ostenie v ľavej tunelovej rúre, ako aj nosné konštrukcie hĺbených tunelov na južnom portáli. V ľavej tunelovej rúre prebieha pokládka štrbinových žlabov odvodnenia vozovky a obrubníkov. Cieľom je realizácia vozovky v oboch tunelových rúrach v jesenných mesiacoch tohto roku a začiatok montáží technologického vybavenia tunela v auguste.

Okrem prác v tunelových rúrach prebieha v súčasnosti výstavba technologickej centrály na južnom portáli tunela.

Zhotoviteľom stavby je združenie spoločností Váhostav-SK, a.s. a TuCon, a.s. Predpokladané ukončenie rýchlostnej cesty a jej uvedenie do prevádzky sa očakáva v júli 2023.

Tunel Čebrať

Razenie v oboch rúrach tunela Čebrať na úseku diaľnice D1 Hubová – Ivachnová pokračuje v smere od východného portálu. V južnej tunelovej rúre je vyrazených 3547,5 m v kalote, čo znamená, že na prerazenie ostáva 77,5 m. Z východnej strany sa bude raziť ešte cca 25 m, v závere razenia sa pristúpi k rozšíreniu profilu a zrealizuje sa mikropilotový dáždnik. V severnej tunelovej rúre je vyrazených 3482 m, na prerazenie ostáva 136 m. Z východnej strany bude razenie realizované až po prvý mikropilotový dáždnik. V oboch rúrach sa razi vo vstrojovacej triede VT 7 s ochranou stropu tvorenou IBO kotvami dĺžky 8 m a oceľovými ihlami profilu R51. Profil tunela je uzatvorený protiklenbou. Krok razenia je 1 m.

V oboch tunelových rúrach okrem profilácie a prípadných

proceeds from the entrance to the exit portal, is significantly restricted by the winter period and had to be stopped completely during January and early February 2022. After the climatic conditions have improved, gabion walls, which are part of the portal slopes, will be built together with the backfilling of the portal sections of the tunnel. Independently of the weather, gabion walls are being built in front of the entrance portal to stabilise the rock cutting on the left side of the tunnel and rock cuttings bordering the mustering area for components of the integrated rescue system on the right-hand side of the tunnel (see Fig. 6).

The tunnel construction is being carried out by HOCHTIEF CZ a. s., a sub-contractor for the „Sdružení Soběslav – Doubí“ consortium consisting of the companies of STRABAG a.s., EUROVIA CS, A.S., and Metrostav a.s. The company of SAGASTA is the author of the design of means and methods for the tunnel (the so-called execution design).

Ing. LIBOR MAŘÍK, SAGASTA s.r.o.

SLOVAK REPUBLIC

TUNNELS ON MOTORWAY NETWORK

Bikoš tunnel

After the commissioning of the D1 motorway section containing the Prešov tunnel in October 2021, work continues on the second part of the town by-pass, forming a 4.3km long section of the R4 Prešov express highway, northern by-pass, stage I. The 1155m long Bikoš tunnel is also its part.

In January 2022, work continues on concreting the secondary lining in the right-hand tunnel tube, where 48 concrete casting blocks have been finished. The secondary lining in the left-hand tunnel tube has been finished, as well as the load-bearing structures of the cut-and-cover tunnels at the southern portal. In the left-hand tunnel tube, slotted drains evacuating water from the roadway and kerbs are being laid. The objective is to carry out the roadway in both tunnel tubes in the autumn months of this year and to start the installation of the tunnel equipment in August.

In addition to the work inside the tunnel tubes, the construction of a technical centre at the southern portal of the tunnel is currently underway.

The contractor for the construction is a consortium consisting of the companies of VÁHOSTAV SK, a.s and TuCon, a.s. The expected completion of the express highway and its commissioning is expected in July 2023.

Čebrať tunnel

Excavation in both tubes of the Čebrať tunnel located in the Hubová – Ivachnová section of the D1 motorway continues in the direction away from the eastern portal. In the southern tunnel tube, 3547.5m of the excavation have been finished in the top heading, which means that 77.5m remain to the breakthrough. Final 25m long section of the tunnel will be excavated from the eastern side; at the end of the excavation, the profile will be enlarged and canopy tube pre-support will be installed. In the northern tunnel tube, excavation of 3482m of the tunnel have been finished, 136m remain to the breakthrough. From the eastern side, the excavation will be carried out up to the first canopy tube pre-support. The excavation passes in both tubes through excavation support class VT 7 with the upper vault protection consisting of 8m long IBO

reprofilácií primárneho ostenia prebiehajú práce na sekundárnom ostení. V južnej rúre sú zrealizované cca dve tretiny dĺžky základových pásov a protiklenieb. Počas druhého januárového týždňa sa v južnej rúre úspešne rozbehla aj betonáž horných klenieb. V severnej rúre je zrealizovaná cca polovica základových pásov. Na začiatku tunela sú už pripravené bloky pre betonáž hornej klenby, zaizolované, vyarmované.

Portálová jama na západnom portáli tunela intenzívne rastie. Zaisťovanie svahov v oblasti budúcich tunelových rúr dosiahlo 12. rad, čo je 4. kotevná úroveň. Úvodné dvojradové mikropilotové dáždniky sú zrealizované (obr. 7). Po vybudovaní predštítokov bude možné spustiť razenie aj zo západnej strany.

Diaľničný úsek s tunelom Čebrať by mal byť dokončený a odovzdaný verejnosti na používanie na konci roku 2023. Zhotoviteľom stavby je združenie spoločností OHLA ŽS, a.s. a Váhovstav-SK, a.s.

Tunel Višňové

Tunel Višňové s celkovou dĺžkou 7 450 m a s dvomi tunelovými rúrami sa buduje na úseku diaľnice D1 Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala. Nachádza sa na území pohoria Malá Fatra, pričom jeho východný portál je vyústený v katastrálnom území obce Vrútky a západný portál sa nachádza v katastrálnom území obce Višňové. Súčasťou tunelových objektov je aj odvodňovacia štôľňa, ktorá je umiestnená v osi diaľnice a odvádza horninovú vodu na východný portál.

Spoločnosť Skanska, ktorá po prerušení prác realizuje dostavbu tunela, v tomto období koncentruje stavebné kapacity na profiláciu primárneho ostenia tunelov a priečných prepojení. Celkovo bolo v špičke nasadených 8 striekacích strojov typu Meyco. Na všetkých stavebných sekciách sú vykonávané izolačné práce, betonáž základových pásov vrátane rubovej drenáže. Betonáž hornej



Obr. 7 Západný portál tunela Čebrať
Fig. 7 Western portal of the Čebrať tunnel

anchors and R51 profile steel needles. The tunnel profile is closed by an invert. The excavation round is 1m long.

In both tunnel tubes, in addition to the profiling and possible reprofiling of the primary lining, work on the secondary lining is underway. Approximately two thirds of the length of the foundation strips and inverts have been finished in the southern tube. During the second week of January, the concreting of the upper vaults also started successfully in the southern tube. About half of the foundation strips has been finished in the northern tube. At the beginning of the tunnel, blocks are already prepared for concreting the upper vault. The waterproofing and concrete reinforcement installation has been completed.

The portal pit at the western portal of the tunnel is growing intensely. The stabilisation of the slopes in the area of the future tunnel tubes has reached the 12th row, which is the 4th anchoring level. The initial two-row canopy tube pre-support sets have been completed (see Fig. 7). After building the pre-tunnel canopy, it will be possible to start excavation from the western side.

The motorway section containing the Čebrať tunnel should be completed and handed over to the public for use at the end of 2023. The contractor for the construction is a consortium formed by the companies of OHLA ŽS, a.s. and VÁHOSTAV SK, a.s.

Višňové tunnel

The twin-tube Višňové tunnel with a total length of 7450m is being built in Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala section of the D1 motorway. It is located in the area of the Malá Fatra mountain range, while its eastern portal emerges in the Vrútky municipality cadastral district and the western portal is located in the cadastral district of the municipality of Višňové. The tunnel objects also include a drainage gallery, which is located on the axis of the motorway and evacuates groundwater to the eastern portal.

The Skanska company, which is completing the tunnel construction after the interruption of work, is concentrating construction capacities in this period on profiling of the primary lining and cross passages. A total of 8 Meyco spraying machines



Obr. 8 Príprava betonáže ostenia v núdzovom zálive tunela Višňové
Fig. 8 Preparation of concreting the lining in emergency lay-by in the Višňové tunnel

klenby je aktuálne realizovaná piatimi debniami vozmi v tunelových rúrach a dvomi vozíkmi v priečných prepojeniach. Spotreba betónových zmesí je na úrovni cca 500 m³ denne. K zásobovaniu stavby betónom slúžia tri výrobné, kde sú nainštalované miešacie jadrá s objemom 3 m³. Vďaka aktuálnemu nasadeniu technických a ľudských zdrojov bola v prvej dekáde mesiaca február pokorená hranica 50 percent celkového počtu zabetónovaných blokov horných klenieb. S postupom betonáže v tunelových rúrach sú priebežne betónované aj núdzové zálivy (obr. 8). Aktuálne je zabetónovaných päť zálivov z celkového počtu dvadsať. Zhotoviteľ disponuje štyrmi kompletmi prídavného debnenia na betonáž núdzových zálivov. V odvodňovacej štôlni sa realizuje výplň geotechnických rozrážok výplňovou cemento-popolčekovou zmesou.

Z nových činností, ktoré sa začali nedávno realizovať, je to hlavne odťažba a dočisťovanie dna tunela a príprava pláne pod konštrukčné vrstvy vozovky v úsekoch s ukončenými betonárskymi prácami (obr. 9). V zmysle technicko-kvalitatívnych podmienok bolo možné po dosiahnutí predpísaných 56 dní začať s betonážou vrchlíkov na novovybudovaných horných klenbách.

Z väčšej časti bola dokončená diagnostika hotových konštrukcií drenážneho systému. Analyzuje sa rozsah potrebných opráv a navrhnutých riešení na odstránenie nedostatkov.

Kolektív riadiacich pracovníkov spoločnosti Skanska čelí obrovskej výzve, ktorou je koordinácia nasadených kapacít a jednotlivých technológií tak, aby boli optimálne využité a dosahovali požadovaný výkon. Na realizáciu sa pripravujú ďalšie činnosti, ako je oprava drenážneho systému, osádzanie obrubníkov a štrbinových žlabov, pokládka konštrukčných vrstiev vozovky vrátane odvodnenia pláne. Súbežne je potrebné vykonávať aj sanačné práce na kozmetike betónov horných klenieb.



Obr. 9 Úpravy dna v tuneli Višňové
Fig. 9 Work on the bottom of the Višňové tunnel

were used during the peak period. Insulation of waterproofing and concreting of strip footings, including drainage at the external surface, are being carried out in all construction sections. The concreting of the upper vault is currently being carried out using five formwork travellers in tunnel tubes and two travelling forms in cross passages. Consumption of concrete mixtures is at the level of about 500m³ per day. Three production plants, where 3m³ mixing cores are installed, are used to supply the construction with concrete. Owing to the current use of technical and human resources, the limit of 50 percent of the total number of completed upper vault concrete blocks was broken in the first decade of February. During the advancing process of concreting inside tunnel tubes, emergency lay-bys are also continuously concreted (see Fig. 8). Currently, concreting of five lay-bys out of a total of twenty are finished. The contractor has four sets of additional formwork for concreting emergency lay-bys available. In the drainage tunnel, geotechnical tunnel stubs are being filled with a cement-fly ash mixture.

Among the new activities that have recently started, it is mainly the excavation and finishing of the tunnel bottom and the preparation of the surface under the structural layers of the roadway in the sections where concreting has been finished (see Fig. 9). In the meaning of technical specifications, it was possible to start concreting the tops of the newly constructed upper vaults after reaching the prescribed limit of 56 days.

For the most part, the diagnostics of the finished structures of the drainage system has been finished. The scope of necessary corrections and proposed solutions to eliminate deficiencies is being analysed.

Skanska's management team faces a huge challenge lying in the coordination of deployed capacities and individual equipment sets so that they are optimally used and achieve the required performance. Other activities are being prepared, such as repair of the drainage system, installation of kerbs and slotted drains, placing of structural layers of the roadway, including drainage of the sub-grade surface. It is necessary simultaneously to perform rehabilitation of the cosmetics of the concrete of the upper vaults.

TUNNELS ON RAILWAY NETWORK

Milochov tunnel

At the end of December 2021, we gave a nice gift on the Slovak railways to us. The Milochov tunnel was successfully prepared in terms of construction and equipment that common operation could



Obr. 10 Únikový východ z tunela Milochov
Fig. 10 Escape exit from the Milochov tunnel

TUNELY NA ŽELEZNIČNEJ SIETI

Tunel Milochov

Koncom decembra 2021 sme si darovali na slovenských železničiaroch pekný darček. Podarilo sa stavebne i technologicky pripraviť tunel Milochov tak, že sa cez neho po jednej koľaji spustila ostrá prevádzka (obr. 10). Tak sa na koridore Bratislava – Žilina po tuneloch Turecký Vrch a Diel sprevádzkoval tretí tunel. Prejazd tunelom Milochov je možné si pozrieť na zázname MDV SR na Youtube pod názvom „Prejazd tunela Milochov – Train ride cab view“. Plná prevádzka v tuneli aj po druhej koľaji je závislá od pripravenosti prepojenia starej trate s novou mimo oblasti tunela, čo sa predpokladá na jar tohto roka.

Tunel Milochov je, čo sa týka stvárnenia jeho portálov, výnimočná, technicky náročná a stvárnením pekná stavba. Oba portály sú v blízkosti obslužnej komunikácie z Považskej Bystrice do Dolného Milochova a preto každému, kto má rád dopravné stavby a pôjde okolo, odporúčam sa tam zastaviť.

Stavbu tunela realizovala spoločnosť Subterra a.s. a generálnym projektantom pre investora Železnice Slovenskej republiky bola spoločnosť REMING CONSULT a.s.

Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ, DOPRAVOPROJEKT, a.s.

Ing. IVAN MICHALE, Váhostav-SK, a.s.

Ing. VLADIMÍR KOTRÍK, Skanska SK a.s.

Ing. JÁN KUŠNÍR, MDV SR

commence through it on one track (see Fig. 10). It means that the third tunnel was brought into service on the Bratislava – Žilina corridor, after the Turecký Vrch and Diel tunnels. The passage through the Milochov tunnel can be viewed on the Ministry of Transport and Construction of the Slovak Republic record on Youtube under the title “Passage through Milochov tunnel – Train ride cab view”. The full traffic in the tunnel also on the second track depends on the preparedness to connect the old track with the new track outside the tunnel area, which is expected in the spring of this year.

In terms of its portals design, the Milochov tunnel is an exceptional, technically demanding and beautiful structure. Both portals are in the vicinity of a service road from Považská Bystrica to Dolný Milochov, therefore I recommend that anyone who likes traffic structures and will drive by should stop there.

The construction of the tunnel was carried out by Subterra a.s. and REMING CONSULT a.s. was the general designer for the project owner, Railways of the Slovak Republic.

Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ, DOPRAVOPROJEKT, a.s.

Ing. IVAN MICHALE, VÁHOSTAV SK, a.s.

Ing. VLADIMÍR KOTRÍK, Skanska SK a.s.

Ing. JÁN KUŠNÍR, MDV SR

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

This part of picture postcards is dedicated to tunnels on the Mariazellbahn rail line. As early as the 19th century, Mariazell with a Marian shrine was the largest pilgrimage site in Austria-Hungary. For that reason, the construction of a rail line from Sankt Pölten (now the capital of the state of Lower Austria) to Mariazell has also been considered since the opening of the Western Rail line in 1858. The difficult mountainous terrain predestined the narrow gauge rail line here. For these railways, the Austro-Hungarian military administration usually specified a track gauge of 760mm. In July 1896, the concession was granted for the formally independent local railway company St. Pölten – Kirchberg an der Pielach – Mank. In the same year, the Lower Austrian State Railway Authority, later the Lower Austrian State Railways, commenced the construction. The railway from St Pölten to Kirchberg with a turnoff to Mank was inaugurated on July 4, 1898. In 1905 the rail line from Pielachtal to Laubnbachmühle was completed and on August 5, 1905 the section Mank – Ruprechtshofen followed. From the three variants of continuation to Mariazell, the variant leading in geologically more favourable conditions and thus containing the shortest length of tunnels was chosen. In 1906, this mountainous line was completed so much that freight transport to Mariazell could begin, and, on May 2, 1907, passenger transport was also opened; in the summer of the same

year, the rail line to Gußwerk, built under pressure from Styria, was also put into operation. Between 1907 and 1911, work was underway on electrification. At that time it was the longest electrified track in the world. There are a total of 21 single-track tunnels on the Mariazellbahn (with a total line length of 84.23km); all of them are in Lower Austria. The total length of the tunnels amounts to 4,573.60m (from the shortest Natters with the length of 29.65m up to the 2,369.46m long Gösing tunnel). There are six picture postcards with local tunnels in authors' collections, see Fig. 1–6.

This part of the series contains three more postcards. The Mittelgebirgsbahn (see Fig. 7) in Innsbruck is also called by local people the Iglar or Sechser, and it is nothing else than the local tram line No. 6. The regional historic line with a gauge of 1,000mm and a length of only 8,362km was originally licensed as a railway. It leads near the south-eastern edge of the city, in the low mountains that gave the railway its name.

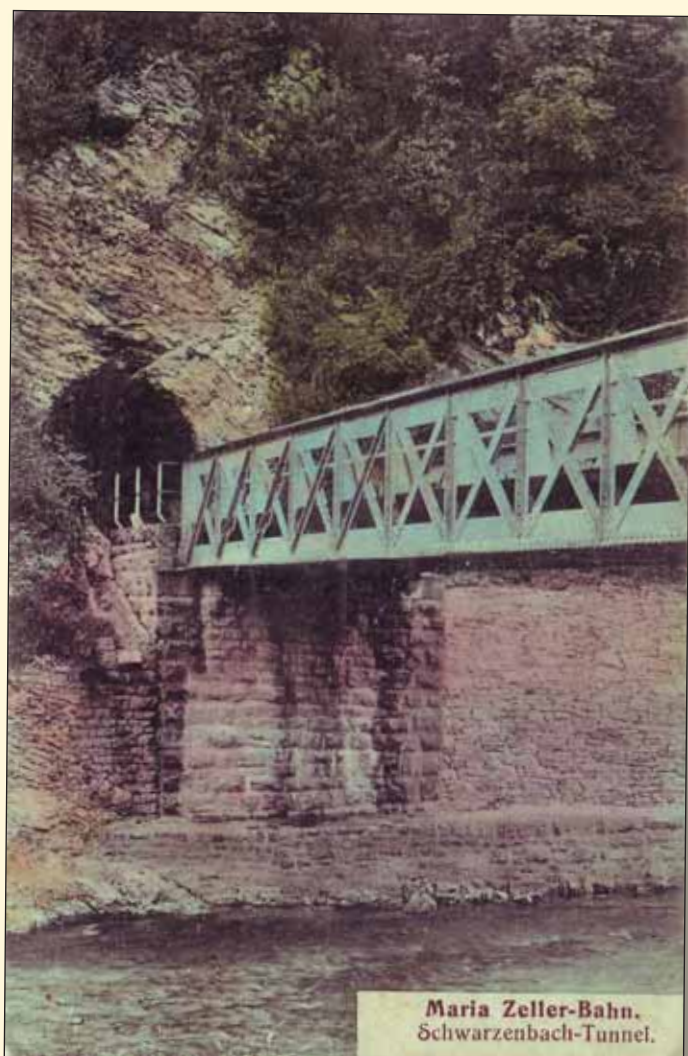
The Ausserfern Railway (Außerfernbahn, see Fig. 8) is a cross-border single-track, standard track gauge, connecting at the length of 93,920km and a maximum gradient of 37.5 ‰ Tyrol with Bavaria. It leads from Kempten (Austria) via Pfronten, Reutte to Garmisch-Partenkirchen (Germany). It is named after the Außerfern (in the Tyrolean dialect it is an ascent to the Fern Pass).

The Pyhrn Railway (Pyhrnbahn, see Fig. 9) passes through a large part of the federal states of Upper Austria and Styria (on the Linz – Rohr-Bad Hall – Selzthal route) and the ÖBB therefore ranks it as a backbone network. The Linz-Klaus section was originally only a local private railway operated by the Kremsthalbahn, and it was not until 1901–1906 that the state connected it via the Pyhrnbahn. Together with the Tauern, Karawan and Wocheiner railways, the Gorizia-Trieste line and the Wechselsk line, the last gaps in Austria's main railway network have thus been closed.

Tunely na Mariazellerbahn

Již v XIX. století bylo Mariazell ve Štýrsku s mariánskou svatyní největším poutním místem v Rakousku-Uhersku. Proto se od otevření Západní dráhy v roce 1858 uvažovalo také o stavbě železnice ze Sankt Pölten (dnes hlavní město spolkové země Dolní Rakousy) právě do Mariazell.

Obtížný horský terén zde předurčil úzkokolejku. U těchto železnic byl v Rakousku-Uhersku vojenskou správou obvykle specifikován rozchod koleje 760 mm. V případě potřeby totiž měla být povolá-

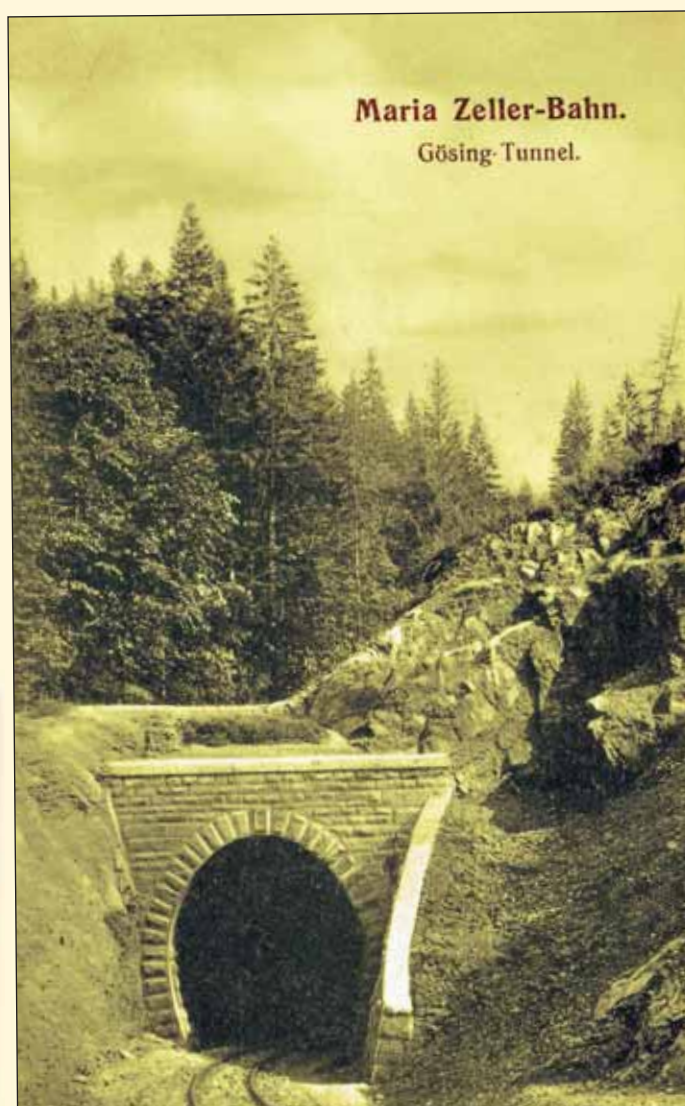


Obr. 1 Mariazellerská dráha. Tunel Schwarzenbach. Kolorovaná fotografie. B.K.W.I. 1909 [sbírka autorů].

Dnes je tunel pojmenovaný Schönau. Na pohlednici tunel vychází dosud nevyzděným jižním portálem (od nádraží Frankenfels) na 20 m dlouhý most přes řeku Pielach.

Fig. 1 Mariazellers railway. Schwarzenbach Tunnel. Coloured photograph. B.K.W.I. 1909 [authors' collection].

Today the tunnel is named Schönau. On the picture postcard, the tunnel emerges through a still unconstructed southern portal (viewed from Frankenfels station), passing to a 20m long bridge over the river Pielach.



Obr. 2 Mariazellerská železnice. Tunel Gösing. ? Okolo 1910 [sbírka autorů]. Novotou dosud zářící jižní portál nejdelšího tunelu dráhy (od nádraží Gösing).

Fig. 2 Mariazell railway. GösingTunnel. ? About 1910 [authors' collection]. The southern portal of the longest railway tunnel (viewed from Gösing station) still shining with novelty.

na vozidla tohoto rozchodu k vojenské službě na železnici v Bosně a Hercegovině.

V červenci 1896 byla udělena koncese pro formálně nezávislou společnost místní dráhy St. Pölten – Kirchberg an der Pielach – Mank. V témže roce zahájil stavbu Dolnorakouský státní železniční úřad, pozdější společnost Dolnorakouské státní dráhy. Železnice ze St. Pölten do Kirchbergu s odbočkou na Mank byla otevřena 4. 7. 1898. Roku 1905 byla dokončena trasa z Pielachtal do Laubenbachmühle a 5. 8. 1905 úsek Mank – Ruprechtshofen.

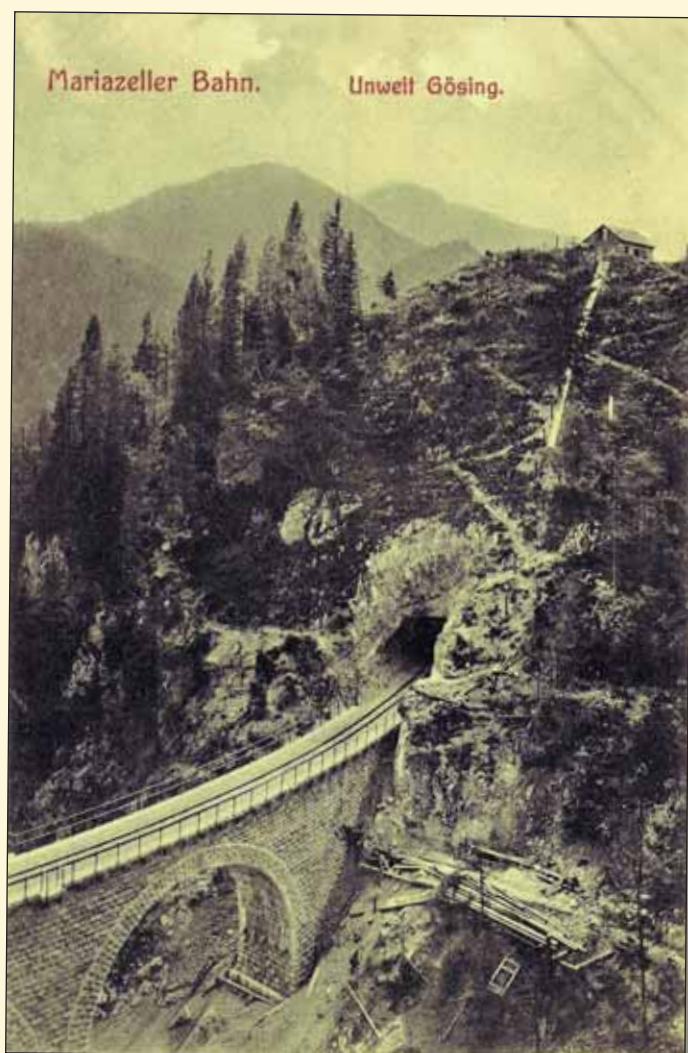
Ze tří variant pokračování do Mariazell byla vybraná ta, která vedla v geologicky příznivějších poměrech a měla tak i nejkratší délku tunelů. Roku 1906 byla tato horská cesta dokončena natolik, že mohla být zahájena nákladní doprava do Mariazell a 2. 5. 1907 byla otevřena i doprava osobní; v létě téhož roku byla zprovozněna také trať do Gußwerk, postavená na nátlak Štýrska. V letech 1907 až 1911 probíhaly práce na elektrizaci, když ve své době šlo o vůbec nejdelší elektrizovanou dráhu na světě. Další plány na prodloužení dráhy přes štýrský Seeberg, stejně jako spojení s Thörlerbahn a štýrskou železniční sítí vzaly za své s vypuknutím první světové války. Stejně tak se neuskutečnilo napojení na Ybbstalbahn.

Od 12. 12. 2010 je vlastníkem a provozovatelem Mariazeller-

bahn – nejdelší úzkokolejky v Rakousku – společnost Niederösterreichische Verkehrsorganisationsgesellschaft (NÖVOG) [1].

Na Mariazellerbahn je (při délce dráhy 84,23 km) celkem 21 jednokolejných tunelů; všechny se nacházejí v Dolním Rakousku. Jejich souhrnná délka činí 4 573,60 m (od nejkratšího Natters s 29,65 m až po 2 369,46 m dlouhý tunel Gösing) [2, 3]. Ve sbírkách autorů se nachází šest pohlednic se zdejšími tunely. Bráno od severu, tedy od St. Pölten, jsou to:

- **Tunel Schönau** – na dráze čtvrtý, s 61,45 m typicky krátký tunel, mezi nádražím Schwarzenbach an der Pielach (zdroj původního pojmenování) a mostem přes řeku Pielach – obr. 1.
- **Tunel Gösing** – na trati dvanáctý, a s 2 369,46 m také nejdelší. Nachází se mezi zastávkou Brandeben a nádražím Gösing (obr. 2). V tunelu je také nejvyšší bod celé dráhy, s kótou 891,6 m n. m.
- **Tunel Großer Klausgraben** – na trati čtrnáctý, dl. 102 m – obr. 3. Nachází se mezi zastávkou Wasserlochhäusl a 116 m dlouhým stejnojmenným viaduktem.

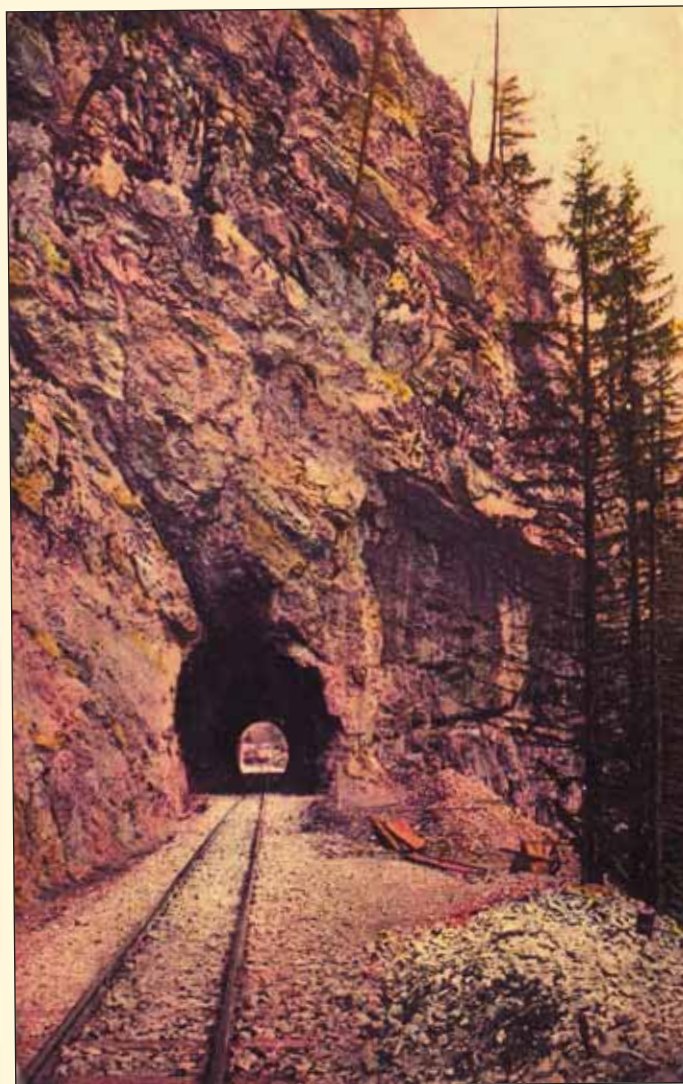


Obr. 3 Mariazellerská železnice. Nedaleko Gösing. No. 728/30. Kunstverlag S. Frank, Graz, 1907–08 [sbírka autorů].

Jde o jihovýchodní ústí tunelu Großer Klausgraben od nádraží Annaberg, zatím bez vyžděného portálu. Vpravo dole je pozůstatek zařízení staveniště tunelu a navazujícího 116 m dlouhého Klausgrabenského viaduktu. Lokalita se nachází cca 5 km jižně od Gösing.

Fig. 3 Mariazell railway. Near Gösing. No. 728/30. Kunstverlag S. Frank, Graz, 1907–08 [authors' collection].

It is the south-eastern mouth of the Großer Klausgraben tunnel viewed from Annaberg station, without a masonry portal yet. At the bottom right there are the remains of the tunnel construction site arrangement and the adjoining 116m long Klausgraben viaduct. The location is about 5km south of Gösing.



Obr. 4 Mariazeller-Bahn. Průraz skálou u Annabergu. Kolorovaná fotografie. Nr. 728/27 Kunstverlag S. Frank, Graz, 1907–08 [sbírka autorů].

Severozápadní vstup do krátkého tunelu Reithmauer od nádraží Gösing. Tunelu zatím schází (později dozděný) portál.

Fig. 4 Mariazeller-Bahn. Rock breakthrough near Annaberg. Coloured photograph. No. 728/27 Kunstverlag S. Frank, Graz, 1907–08 [authors' collection]. North-western entrance to the short Reithmauer tunnel viewed from Gösing station. The (later completed) masonry portal is still missing.

- **Tunel Reithmauer** – šestnáctý na trati, typicky krátký (63,14 m), mezi nádražními Gösing (resp. ještě kratším tunelem – 35,40 m – Kleiner Klausgraben) a Annaberg – obr. 4.
- **Tunel Großer Zinken** – dvacátý a rovněž krátký (68,53 m) – obr. 5, ve velmi rychlém sledu mezi tunelem Kleiner Zinken a následným tunelem Erlaufklause.
- **Tunel Erlaufklause** – před zastávkou Erlaufklause, na trati dvacátý první (obr. 6) a tudíž poslední, těsně před Mariazell, dlouhý 111,16 m.

Tunel Amraser v Innsbrucku

Mittelgebirgsbahn v Innsbrucku nazývají místní také Iglar nebo Sechser a nejde o nic jiného nežli o linku zdejší tramvaje č. 6. Regionální historická dráha o rozchodu 1 000 mm a délce pouhých 8,362 km byla přitom původně licencovaná jako vlak. Vede při jihovýchodním okraji města, v nízkém pohoří, které dalo železnici jméno. Trasa byla otevřena 27. 6. 1900 a od té doby spojuje čtvrt Wilten v Innsbrucku s vesnicemi Aldrans, Lans, Sistrans a Igls. V letech 1930–36 byla parní trakce nahrazená elektrickou. Dnes



Obr. 5 Mariazellerbahn. V Zinken. Kombinace fotografie a kresby? Karte Nr. 716. Verlag Wien VIII. Floriangasse 39. Okolo 1910 [sbírka autorů].

Velmi pravděpodobně jde o jižní portál tunelu Großer Zinken od nádraží Erlaufklause. Dramatická přírodní scénérie je zřejmě umělecky dotvořená. Pohlednice byla vydána ve prospěch „Verein für das Deutschtum im Ausland – Spolku pro Němce v zahraničí“ a nese proto symbol této organizace.

Fig. 5 Mariazellerbahn. V Zinken. Combination of photograph and drawing? Karte Nr. 716. Verlag Wien VIII. Floriangasse 39. About 1910 [authors' collection].

This is most likely the southern portal of the Großer Zinken tunnel viewed from Erlaufklause station. The dramatic natural scenery is probably artistically completed. The picture postcard was issued in favour of "Verein für das Deutschtum im Ausland – Association for Germans Abroad" and therefore bears the symbol of this organisation.

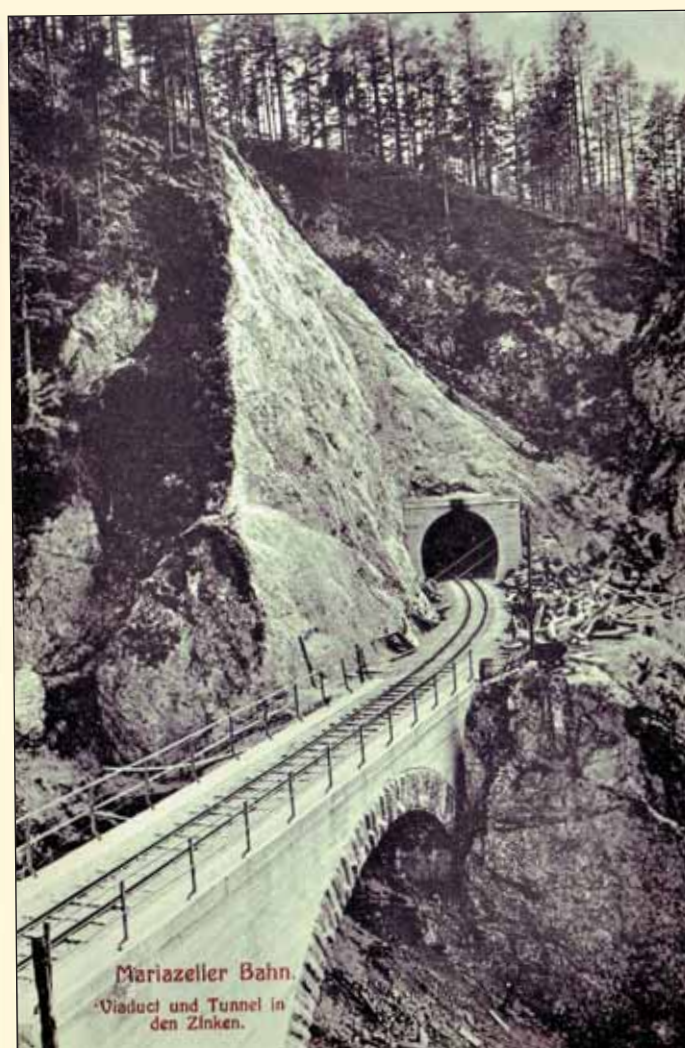
je z dříve důležitého prostředku místní dopravy víceméně výletní vláček do městské rekreační oblasti.

Na trase se nachází dva velmi krátké jednokolejné tunely – Iglar Straße (29 m) a ražený tunel Amraser (dlouhý pouhých 19 m) – obr. 7 [4, 5].

Tunel Lermoos na Außerfernské dráze

Außerfernská dráha (Außerfernbahn) je přeshraniční jednokolejná dráha standardního rozchodu, spojující v délce 93,920 km a při maximálním sklonu 37,5 ‰ Tyrolsko s Bavorskem. Vede z Kemptenu (AT) přes Pfronten, Reutte do Garmisch-Partenkirchenu (DE). Je pojmenovaná po Außerfernu (v tyrolském dialektu jde o výstup do průsmyku Fern).

V roce 1895 byl otevřený první úsek do Pfronten-Riedu, 1905 prodloužení do Schönbichlu (Vils) a železniční trať tak byla postupně otevíraná až do 29. 5. 1913. Spojuje Außerfern s Mittenwaldbahn



Obr. 6 Mariazellerská dráha. Viadukt a tunel v Zinken. Nr. 728/19. Kunstverlg S. Frank, Graz. 1910–11 [sbírka autorů].

Ve skutečnosti jde o severní portál posledního tunelu trati – Erlaufklause, a to od zastávky Wienerbruck-Josefsberg.

Fig. 6 Mariazeller railway. Viaduct and tunnel in Zinken. No. 728/19. Kunstverlg S. Frank, Graz. 1910–11 [authors' collection].

In reality, it is the northern portal of the last tunnel on the rail line – Erlaufklause, viewed from the Wienerbruck-Josefsberg intermediate station.

a dále Mnichov – Garmisch-Partenkirchen na východě a Buchloe – Lindau s Illertalbahn na západě. Železnice byla již od počátku mezi Garmisch-Partenkirchenem a státní hranicí elektrifikovaná.

V roce 2003 pověřila spolková země Tyrolsko společnost DB Regio vedením osobní dopravy (s nasazením diesellových souprav); ÖBB pak odpovídá za údržbu infrastruktury. Dráha je důležitá pro dopravu školáků a dalších místních a také pro dopravu nákladní a rekreační [6].

Na poměrně dlouhé Außerfernské dráze jsou pouze dva tunely: Lermoos (105,06 m) – obr. 8 a tunel Katzenberg (dlouhý 512,5 m). Oba tunely leží v Rakousku [7].

Tunel Bosruck na Pyrnské dráze

Pyrnská dráha (Pyhrnbahn) prochází velkou částí spolkových zemí Horní Rakousko a Štýrsko (ve stopě Linz – Rohr-Bad Hall – Selzthal) a ÖBB ji proto řadí k páteřní síti. Úsek Linz – Klaus byl přitom původně jen místní soukromou dráhou společnosti Kremsthalbahn a až v letech 1901–1906 ji stát připojil prostřednictvím Pyhrnbahn. Společně s Tauernskou, Karawanskou a Wocheinerskou dráhou, tratí Gorizia – Terst a dráhou Wechelskou tak byly v hlavní rakouské železniční síti zaceleny poslední mezery.



Obr. 7 Innsbruck. Zámek Amras. Náhradní válečný tisk tlačený na nouzovém papíru. 56782 Schaar & Dathe, Trier. 1918 [sbírka autorů].

Ústředním motivem válečné pohlednice je jižní portál Amraserkého tunelu od zastávky Schönruh. V pravé části obrázku je pak v pozadí zámek Ambras (též Amras), ležící při jihovýchodním okraji Innsbrucku a řadící se svými rozsáhlými sbírkami k nejvýznamnějším památkám Rakouska. Jakkoliv je zobrazený tunel krátký (pouhých 19 m), má o to více pojmenování – je známý také jako Ambraser (podle zámku Ambras) či Schönruh.

Fig. 7 Innsbruck. Amras castle. Replacement war printing embossed on emergency paper. 56782 Schaar & Dathe, Trier. 1918 [authors' collection].

The central motif of the war postcard is the southern portal of the Amraser tunnel viewed from the Schönruh intermediate station. Pictured right, there is the Ambras Castle (also Amras) in the background, located at the south-eastern edge of Innsbruck and ranking among the most important monuments in Austria with its extensive collections. However short the tunnel pictured is (only 19m), it has even more names – it is also known as Ambraser (according to Ambras Castle) or Schönruh.

Na Pyrnské dráze je provozováno šest jednokolejných tunelů, úhrnné délky 6 323,06 m (od 106,40 m tunelu Schloss, až po 4 766,58 m tunelu Bosruck), jen 18,20 m dlouhý Malý tunel Bosruck byl v roce 2012 snesený. Mezi těmito šesti tunely svou délkou i dalšími souvislostmi zcela vyniká tunel Bosruck – obr. 9 [8].

Tunel Bosruck, 4 766,58 m dlouhý, spojuje železniční stanice Spital am Pyhrn a Arding. Jako součást státního projektu byl postavený v letech 1901 až 1906 pod vrcholem velkého Bosrucku,



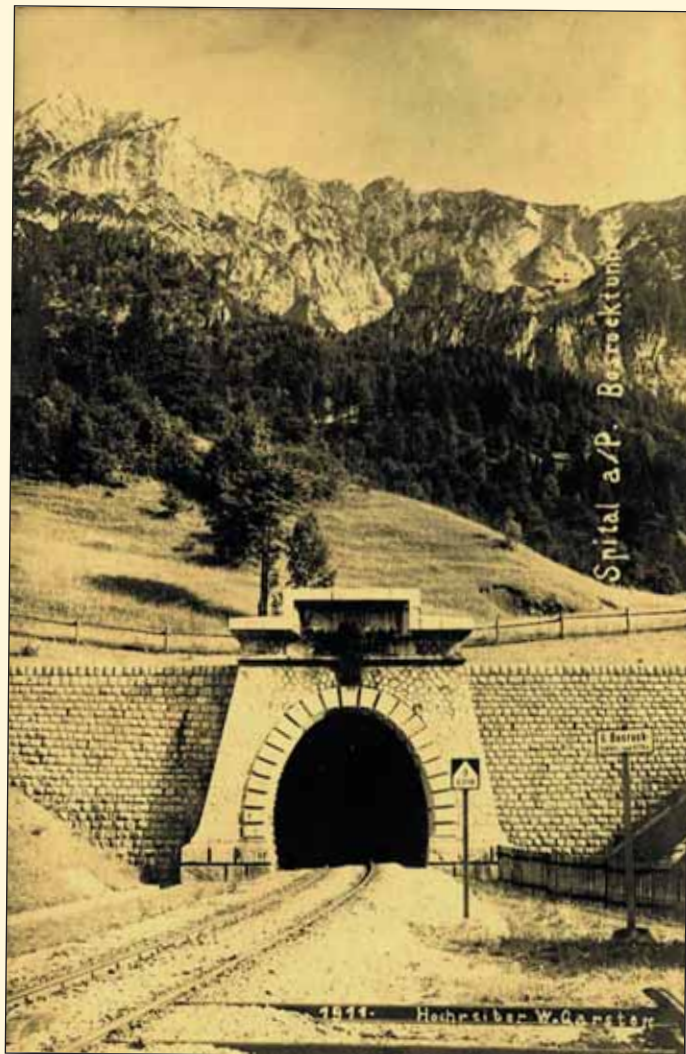
Obr. 8 Ausserfernská dráha; tunel u Lermoos. Kolorovaná fotografie. Purger & Co., München. Photochromiekarte Nr. 13468. Okolo 1910 [sbírka autorů].

Západní portál tunelu od zastávky Lähn. V pozadí jsou dva vrcholy tyrolského horského řetězce Mieminger – Sonnenspitze a Wampeter Schrofen (s dnes udávanými výškami 2 417 a 2 520 m n. m.), se značným významem pro turistický ruch. **Fig. 8 Ausserfern railway; tunnel near Lermoos. Coloured photograph. Purger & Co., München. Photochromiekarte Nr. 13468. About 1910 [authors' collection].** Western portal viewed from the Lähn intermediate station. In the background, there are two peaks of the Tyrolean mountain range, Mieminger – Sonnenspitze and Wampeter Schrofen (with today's elevations of 2,417 and 2,520m above sea level), of considerable importance for tourism.

tvořícího hranici mezi Horním Rakouskem a Štýrskem. Nejvyšší místo v tunelu je 727 m n. m. Tunel prochází pohořím budovaným anhydritem, dolomitickými vápenci, opukou, sádrovcem a křemennými břidlicemi. Vápence se vyznačovaly silným zvodněním a vedle toho docházelo i k nečekaným únikům metanu z hory.

Ve smlouvě o stavbě byla velmi zvláštní podmínka, podle které mělo být při ražbě od severu používáno mechanizované vrtání, od jihu však ruční; vývoj prací si však vynutil mechanizované vrtání i z jihu. Při stavbě byla uplatněna částečně belgická, částečně pak anglo-rakouská metoda. Práce na tunelu provázela řada nesnází, především s vysokými přítoky vody okolo 800 až 1 000 l/s. Ty také způsobily vyschnutí potoka Schreiende Bach poblíž Spital am Pyhrn. Dne 17. 5. 1905, těsně před prorážkou, došlo k mimořádně velké průtrži vody do jižní části. A pár dnů na to, 22. 5 1905, zahynulo šestnáct dělníků při výbuchu metanu. To vedlo ke zpoždění stavby o 11 měsíců; tunel byl nakonec otevřený 20. 8. 1906. Zpoždění a souběžný nárůst nákladů (běžný metr tunelu přišel na 1 980 korun rakouské měny) měly za následek rezignaci ředitele stavby i ministra železnic.

Po více než 150 letech provozu byl tunel od 29. 9. 1963 do 29. 5. 1965 uzavřený. V odstávce proběhly rozsáhlé opravy škod způsobených vodou, horninovým tlakem a spaliny z parních lokomo-



Obr. 9 Spital a/P. Tunel Bosruck. Hochrcibar W. Garston. 1911 [sbírka autorů].

Severozápadní portál tunelu od železniční zastávky Linzerhaus. **Fig. 9 Spital a/P. Bosruck tunnel. Hochrcibar W. Garston. 1911 [authors' collection].**

North-western portal of the tunnel viewed from the Linzerhaus intermediate railway station.

tiv. Od znovuootevření jezdí osobní vlaky s diesellovou trakcí a nákladní přešly na pohon elektrický.

V roce 2011 byla zahájena příprava výstavby nového dvoukolejného tunelu Bosruck, s plánovaným zahájením provozu do roku 2040. V té souvislosti se uvádí, že obtížností geotechnických pod-

mínek je prostor tunelu Bosruck srovnatelný s bázovým tunelem Semmering [9].

doc. Ing. VLADISLAV HORÁK, CSc.,

Ing. MILAN MAJER,

Ing. RICHARD SVOBODA, Ph.D.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Mariazellská železnice [online]. [cit. 2021-12-07]. Dostupné na internetu <Mariazellská železnice – Wikipedie (wikipedia.org)>
- [2] Eisenbahn-Tunnel in Österreich [online]. [cit. 2021-12-07]. Dostupné na internetu <Eisenbahn-Tunnel in Österreich (eisenbahntunnel.at)>
- [3] Strecke 153 01, St. Pölten – Mariazell (Mariazeller Bahn) [online]. [cit. 2021-12-07]. Dostupné na internetu <<https://www.eisenbahntunnel.at/inhalt/tunnelportale/15301.html>>
- [4] Innsbrucker Mittelgebirgsbahn [online]. [cit. 2021-12-07]. Dostupné na internetu <Innsbrucker Mittelgebirgsbahn – Wikipedia>
- [5] Amraser Tunnel: 19 Meter [online]. [cit. 2021-12-07]. Dostupné na internetu <Strecke 964 01, Straßenbahn Innsbruck: Bergisel – Iglis Bahnhof (Innsbrucker Mittelgebirgsbahn, Spurweite 1.000 mm), Eisenbahn-Tunnel in Österreich (www-eisenbahntunnel-at.translate.goog)>
- [6] Außerfernbahn [online]. [cit. 2021-12-07]. Dostupné na internetu <https://de-m-wikipedia-org.translate.goog/wiki/Au%C3%9Ferfernbahn?_x_tr_sl=de&_x_tr_tl=cs&_x_tr_hl=cs&_x_tr_pto=sc>
- [7] Lermoos-Tunnel: 105,06 Meter [online]. [cit. 2021-12-07]. Dostupné na internetu <<https://www.eisenbahntunnel.at/inhalt/tunnelportale/35201.html#lermoos>>
- [8] Pyhrnbahn [online]. [cit. 2021-12-07]. Dostupné na internetu <Pyhrnbahn – Wikipedia>
- [9] Bosruck-Eisenbahntunnel [online]. [cit. 2021-12-07]. Dostupné na internetu <Bosruck-Eisenbahntunnel – EnnstalWiki>

VÝROČÍ ANNIVERSARIES

K VÝZNAMNÝM NAROZENINÁM ING. IVANA HRDINY TO SIGNIFICANT BIRTHDAY OF ING. IVAN HRDINA

Již několikrát jsem na stránkách TUNELU přál k významným narozeninám příteli, spolupracovníkovi nebo významnému členovi naší tunelářské komunity. Tentokrát se všechna tato určení týkají osoby jediné, protože blahopřeji Ing. Ivanovi Hrdinovi, předsedovi České tunelářské asociace. Ivan dospěl ke svým šedesátinám, což je, vzhledem k jeho pracovnímu nasazení a výborné fyzické kondici, značně překvapující. Bohužel, data jsou neúprosná, současně však vypovídají o rozsáhlé a mimořádně úspěšné náplni nejen odborného života jubilanta.

Ing. Ivan Hrdina se narodil 7. března 1962, o devatenáct let později, v červnu 1981, maturoval na Střední průmyslové škole strojní a dopravní v Děčíně. V následujících pěti letech absolvoval vysokoškolská studia na konstruktivně-dopravním směru Stavební fakulty ČVUT v Praze, která ukončil v červnu 1986 obhájením diplomové práce z podzemních staveb. Zaměření posledních ročníků jeho studia na geotechniku nepochybně ovlivnilo jeho další odborné působení, směřující právě na podzemní stavby. Za mlada to byla vlastní účast na realizaci výstavby tunelů, později manažerské řízení na stále významnějších postech, a to nejen podzemních staveb našich i zahraničních, ale např. i staveb mostních, železničních, vodních, energetických a pozemních.

Tunelářská kariéra Ing. Ivana Hrdiny konkrétně začala v září 1986 u firmy Metrostav a není od věci uvést, že jeho dlouholetá úspěšná činnost v Metrostavu trvá do současnosti.



On several occasions, I have congratulated on the TUNEL pages my friend, co-worker and an important member of our tunnelling community on a significant birthday. This time my congratulations go to a single person, Ing. Ivan Hrdina, Chairman of the Czech Tunnelling Association. Ivan has reached the age of sixty, which is, given his hard work and excellent physical condition, quite surprising. Unfortunately, the data is relentless, but at the same time it testifies to the extensive and extremely successful content of not only the professional life of the jubilarian.

Ing. Ivan Hrdina was born on March 7, 1962, and nineteen years later, in June 1981, he graduated from the Secondary Vocational School of Mechanical Engineering and Transport in Děčín. In the following five years, he graduated from the Czech Technical University in Prague, with a degree in civil engineering from the Department of Civil Engineering and Traffic Structures. He completed the studies in June 1986 by defending his diploma thesis in underground construction. The focus of the last years of his studies on the underground construction specialisation in geotechnics, undoubtedly influenced his further professional career. As a young man, it was his participation in the construction of tunnels, later the management in increasingly important positions, not only in underground and foreign construction, but also, for example, in construction of bridges, railways, hydraulic and energy structures, and building.

Ing. Ivan Hrdina's tunneling career specifically began in September 1986 at Metrostav and mentioning is not out of question that his long-term successful activities in Metrostav a.s., continue to the present day.

From 1986 to 1989, the first professional position directly on the construction site was the position of the assistant manager in the

Prvním odborným postem přímo na stavbě byla v letech 1986 až 1989 funkce asistenta hlavního stavbyvedoucího při výstavbě ražené stanice Jinonice na úseku III. B pražského metra (Smíchovské nádraží – Jinonice). Od konce roku 1989 do března 1993 byl jako stavbyvedoucí pověřen řízením ražby traťových tunelů metra na úseku metra V. B (Nové Butovice – Zličín). Jako hlavní stavbyvedoucí od března 1993 do roku 1995 řídil ražbu přístupového tunelu do stanice Kolbenova i ražbu vlastní trojlodní stanice Kolbenova na úseku metra IV. B (Českomoravská – Černý most). V letech 1996 až 1999 působil jako vedoucí oblasti na stejném úseku metra IV. B při dokončování ražby stanice Kolbenova. Získané zkušenosti z třináctiletého působení přímo na stavbách se staly oceňovaným vkladem pro vývoj jeho dalšího působení v Metrostavu a.s.

Od března 1999 přešel v třiceti sedmi letech jako perspektivní manažer do již zmíněné sféry řízení a koordinace stavebních zakázek. Postupně působil ve funkci výrobního náměstka divize D1 (1999–2001), dále zástupce výkonného ředitele koordinujícího zakázky celofiremního významu (2001–2002) a nakonec, po dlouhých osmnáct let (2002–2020), zastával v Metrostavu a.s. mimořádně významnou funkci výrobně-technického ředitele. V daném formátu není možné postihnout rozsah jeho činnosti v této funkci, ale významnější tunelové stavby „jeho“ období nelze alespoň nevyjmenovat – tunel Mrázovka, tunel Valík, tunel Libouchec a Panenská, tunel Březno, tunelový komplex Blanka, tunel Radejčín, prodloužení linky A metra, Ejpvický tunel a další. Podrobnosti i některé problémy z jejich výstavby jsou známé, jmenované stavby však vesměs znamenají významné obohacení naší dopravní infrastruktury a obecně české tunelářské historie. V roce 2021 byl Ing. Hrdina pověřen řízením vnitřního auditu Skupiny Metrostav, v současnosti zastává ve Skupině funkci ředitele interního auditu a compliance (jednání v souladu s právními předpisy, vnitropodnikovými směrnici a zejména etickým kodexem Skupiny).

Zasloužené uznání patří Ing. Hrdinovi za dlouholetou úspěšnou činnost v národních i mezinárodních orgánech tunelářského společenství ITA-AITES. Od roku 2002 je předsedou České tunelářské asociace ITA-AITES, která za jeho vedení navázala na předchozí kvalitní úroveň asociace. Její mezinárodní prestiž se zvýšila úspěšným uspořádáním pražského světového tunelářského kongresu WTC 2007. CzTA trvale zajišťuje stěžejní náplň naší organizace – vydávání recenzovaného časopisu TUNEL, periodické pořádání konferencí Podzemní stavby Praha, odborné a organizační zajištění oblíbených Tunelářských odpolední, vydávání odborných publikací v edici Dokumenty CzTA ITA-AITES a činnost pracovních skupin. Oceněním kvalitní činnosti CzTA pod vedením Ing. Ivana Hrdiny bylo nepochybně v roce 2008 jeho zvolení a čtyřleté působení ve funkci viceprezidenta mezinárodní tunelářské asociace ITA-AITES.

Díky dlouholetému společnému působení v orgánech CzTA, společné účasti na tunelářských konferencích doma i v cizině, působení v Technické radě Metrostavu a při mnoha neformálních osobních setkáních, jsem poznal vysokou úroveň odborných znalostí a organizačních schopností Ing. Hrdiny, oceňuji Ivanovu schopnost racionálního uvažování a neokázalého rozhodování, s potěšením vnímám jeho pro mne imponující sportovní záliby, jako je cyklistika, lyžování a vysokohorská turistika. Je důležité, a nepochybně si celá naše tunelářská komunita váží toho, že právě taková osobnost stojí v čele prosperující CzTA ITA-AITES. Za všechny členy asociace si dovoluji pográtulovat našemu předsedovi k jeho šedesátinám a upřímně mu přát do dalších let hlavně zdraví, pracovní pohodu a výhradně úspěchy při dalším řízení činnosti České tunelářské asociace. Příteli Ivane, budeme pomáhat.

*prof. Ing. JIŘÍ BARTÁK, DrSc.,
čestný člen CzTA ITA-AITES*

construction of the Jinonice cut-and-cover station on section III B of the Prague metro (Smíchovské nádraží – Jinonice). From the end of 1989 to March 1993, in the position of site agent, he was entrusted with managing the excavation of the metro running tunnels on the V. B metro section (Nové Butovice – Zličín). In the position of the main construction manager from March 1993 to 1995, he managed the excavation of the access tunnel to the Kolbenova station and the excavation of the three-vault Kolbenova station on the IV B metro section (Českomoravská – Černý Most). The experience gained from thirteen years of work directly on construction sites has become a valued contribution to the development of his further work in Metrostav a.s.

From March 1999, at the age of thirty-seven, he moved to the already mentioned sphere of management and coordination of construction contracts as a promising manager. He gradually worked in the positions of the Operations Deputy Director of Division D1 (1999–2001), then the Executive Deputy Director coordinating contracts of company-wide significance (2001–2002) and finally, for eighteen years (2002–2020), he held an extremely important position of Technical and Operations Director of Metrostav a.s. In the given format it is not possible to encompass the scope of his activities in this position, but major tunnel construction projects of „his“ period cannot be not named – the Mrázovka tunnel, Valík tunnel, Libouchec and Panenská tunnels, Březno tunnel, Blanka complex of tunnels, Radejčín tunnel, extension of metro line A, the Ejpvovice tunnel etc. Details and some problems from their construction are known, but the above-mentioned projects generally mean a significant enrichment of our transport infrastructure and the Czech tunnel construction history in general. In 2021, Ing. Hrdina was entrusted with managing the Metrostav Group's internal audit and currently holds the position of Director of Internal Audit and Compliance (with acting in accordance with legal regulations, internal company guidelines and, in particular, the Group's Code of Ethics).

Well deserved recognition belongs to Ing. Hrdina for his long-term successful work in national and international bodies of the ITA-AITES tunnelling community. Since 2002, he has been the president of the ITA-AITES Czech Tunnelling Association, which under his leadership has picked up the threads of the previous high quality level of the association. Its international prestige was enhanced by the successful organisation of the Prague World Tunnel Congress WTC 2007. The CzTA permanently ensures the core content of our organisation – publishing the peer-reviewed TUNEL journal, periodic organisation of conferences Underground Construction Prague, professional and organizational ensurance of popular Tunnel Afternoons, publishing professional publications in the edition ITA-AITES CzTA Documents, and the activities of ITA-AITES Working Groups. His election in 2008 and four years in the position of Vice President of the ITA-AITES International Tunnelling Association were undoubtedly the acknowledgement of the good quality of the CzTA activities under the leadership of Ing. Ivan Hrdina.

Thanks to many years of joint work in CzTA bodies, joint participation in tunnelling conferences at home and abroad, the work in the Metrostav Technical Board and many informal personal meetings, I got to know the high level of expertise and organizational skills of Ing. Hrdina. I appreciate Ivan's ability to think rationally and his unpretentious decision-making ability. I am pleased to see his impressive sports hobbies such as cycling, skiing and high mountain tourism. It is important, and our whole tunnelling community undoubtedly appreciates, that such a personality is at the forefront of the prosperous ITA-AITES CzTA. On behalf of all members of the association, I would like to congratulate our president on his sixtieth birthday and sincerely wish him good health, work contentment and exclusively success in the further managing the Czech Tunnelling Association activities. My friend Ivan, we will help you.

*prof. Ing. JIŘÍ BARTÁK, DrSc.,
a honourable member of ITA-AITES CzTA*

**BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ
UVEŘEJNĚNÝCH V TUNELU, ČASOPISU ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE
A SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE ITA-AITES V ROCE 2021
BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED IN THE JOURNAL TUNEL
OF THE CZECH TUNNELING ASSOCIATION AND THE SLOVAK TUNNELING
ASSOCIATION ITA-AITES WITHIN THE YEAR 2021**

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					
prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., předseda redakční rady	1/2021	1	■ Rekonstrukce Dolnolučanského tunelu a proces rozhodování při návrhu technického řešení <i>Reconstruction of Lučany nad Nisou Tunnel and Decision-Making Process in Designing Technical Solution</i>	4/2021	62
Ing. David Krása, generální ředitel METROPROJEKT Praha a.s.	1/2021	2	■ Krušnohorský tunel – úvodní představení <i>Tunnel under Ore Mountains – Introduction</i>	4/2021	91
Ing. Vlastimil Horák, člen představenstva a ředitel AMBERG Engineering Brno, a.s.	1/2021	3			
Ing. Ján Kušnír, člen redakční rady	2/2021	1	3. DOPRAVNÍ STAVBY TRANSPORT-RELATED PROJECTS		
Ing. Ludvík Šajtar, jednatel a generální ředitel SATRA, spol. s r.o.	2/2021	2	■ Železnice na letiště – Střešovické tunely <i>Railway Track to Airport – Střešovice Tunnels</i>	1/2021	4
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc., člen redakční rady RNDr. Lubomír Klímeck, MBA, člen představenstva a ředitel společnosti GEOtest, a.s.	3/2021	1	Dr.-Ing. Zdeněk Žižka, Ing. Bc., Kamil Bednařík, Bc. MSc. Michal Froněk, CEng., MICE, DIC	1/2021	4
Ing. Ondřej Novák, předseda představenstva STRABAG a.s.	3/2021	3	■ Tramvajový tunel při velkém městském okruhu Žabovřeská v Brně <i>Tram Tunnel at Large City Road Žabovřeská in Brno</i>	1/2021	46
Ing. Pavel Šourek, člen redakční rady	4/2021	1	■ Sanace tunelu Reicholzheim <i>Rehabilitation of Reicholzheim Tunnel</i>	1/2021	54
Ing. Ondřej Fuchs, předseda představenstva a generální ředitel společnosti Subterra a.s.	4/2021	2	■ Zajímavé aspekty provozu Tunelového komplexu Blanka <i>Interesting Aspects of Operation of Blanka Tunnel Complex</i>	2/2021	10
Ing. Jiří Čurda, jednatel společnosti SAGASTA s.r.o.	4/2021	3	Ing. Pavel Šourek, Ing. Lukáš Rákosník	2/2021	10
2. PODZEMNÍ URBANISMUS, VÝHLEDOVÉ STAVBY, NORMY UNDERGROUND CITY PLANNING, PROSPECTIVE PROJECTS, STANDARDS			■ Tunel Homole na dálnici D35, úsek Ostrov – Vysoké Mýto <i>Homole Tunnel on D35 Motorway, Ostrov – Vysoké Mýto Section</i>	2/2021	21
■ Železnice na letiště – Střešovické tunely <i>Railway Track to Airport – Střešovice Tunnels</i>	1/2021	4	Ing. František Polák, Ing. Tomáš Louženský	2/2021	21
Dr.-Ing. Zdeněk Žižka, Ing. Bc. Kamil Bednařík, Bc. MSc. Michal Froněk, CEng MICE DIC	1/2021	4	■ Větrací šachta tunelu Kramer <i>Kramer Tunnel Ventilation Shaft</i>	2/2021	30
■ Aplikace metodiky BIM na projektu pražského metra D <i>Application of BIM Methodology to Prague Metro Line D Project</i>	1/2021	18	Ing. Jan Kubek, Ing. Daniel Josefík	2/2021	30
Ing. Jiří Platil, Petr Ženíšek	1/2021	18	■ Standardizace rekonstrukcí tunelů Rhétské dráhy ve Švýcarsku <i>Standardisation of Reconstruction of Tunnels on Rhaetian Railway in Switzerland</i>	2/2021	37
■ Technické řešení úložiště radioaktivních odpadů v ČR <i>Technical Solution to Underground Radioactive Waste Repository in the Czech Republic</i>	2/2021	3	Ing. ETH Flavio Modetta, Ing. Vlastimil Horák	2/2021	37
Ing. Alexandr Butovič, Ph.D.	2/2021	3	■ Rekonstrukce Podhradského tunelu <i>Podhradský Tunnel Reconstruction</i>	2/2021	46
■ Tunel Homole na dálnici D35, úsek Ostrov – Vysoké Mýto <i>Homole Tunnel on D35 Motorway, Ostrov – Vysoké Mýto Section</i>	2/2021	21	Ing. Alice Wetterová, Ing. Jana Michaljaničová	2/2021	46
Ing. František Polák, Ing. Tomáš Louženský	2/2021	21	■ Nově připravované silniční tunely v Českých Budějovicích <i>Newly Prepared Road Tunnels in České Budějovice</i>	2/2021	55
■ Standardizace rekonstrukcí tunelů Rhétské dráhy ve Švýcarsku <i>Standardisation of Reconstruction of Tunnels on Rhaetian Railway in Switzerland</i>	2/2021	37	Ing. Eliška Pilařová, Ing. Josef Rychtecký	2/2021	55
Ing. ETH Flavio Modetta, Ing. Vlastimil Horák	2/2021	37	■ Ražba průzkumné štoly budoucího metra D – úsek OLI <i>Excavation of Exploratory Gallery for Section OLI of Future Metro D Line</i>	3/2021	33
■ Nově připravované silniční tunely v Českých Budějovicích <i>Newly Prepared Road Tunnels in České Budějovice</i>	2/2021	55	Ing. Ivo Gaja, Vladimír Táborský	3/2021	33
Ing. Eliška Pilařová, Ing. Josef Rychtecký	2/2021	55	■ Některé otázky moderního inženýrsko-geologického a geotechnického průzkumu <i>Some Issues of Modern Engineering Geology and Geotechnical Investigation</i>	3/2021	41
■ Ražba průzkumné štoly budoucího metra D – úsek OLI <i>Excavation of Exploratory Gallery for Section OLI of Future Metro D Line</i>	3/2021	33	doc. Ing. Alexandr Rozsypal, CSc., doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.	3/2021	41
Ing. Ivo Gaja, Vladimír Táborský	3/2021	33	■ Geotechnický průzkum pro tunel Vinohrady v Brně <i>Geotechnical Exploration of the Vinohrady Tunnel in Brno</i>	3/2021	4
■ Některé otázky moderního inženýrsko-geologického a geotechnického průzkumu <i>Some Issues of Modern Engineering Geology and Geotechnical Investigation</i>	3/2021	41	Ing. Adam Zapletal	3/2021	4
doc. Ing. Alexandr Rozsypal, CSc., doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.	3/2021	41	■ Geotechnický monitoring na stavbě tramvajového tunelu v Brně <i>Geotechnical Monitoring on Tram Tunnel Construction in Brno</i>	3/2021	22
			Ing. Marek Polák, RNDr. Otakar Pazdírek, Ing. Ondřej Hort	3/2021	22

BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ
BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHEDČíslo Strana
Issue Page

- Tunel Milochov – realizace definitivního ostění
Milochov Tunnel – Implementation of Definitive Lining
Ing. Petr Velička 4/2021 14
- Tunel Kramer – ražba z jižního portálu
Kramer Tunnel – Excavation from the South Portal
Ing. Jan Kubek, Ing. Daniel Josefík,
Ing. Pavel Farský 4/2021 26
- Tramvajový tunel Žabovřeská – zkušenosti
z dosavadního průběhu výstavby
*Žabovřeská Tram Tunnel – Experience from the Course
of Construction to Date*
Ing. Václav Dohnálek, Ing. Dalibor Stromček,
Ing. Andrej Korba 4/2021 42
- Rekonstrukce Polubenského tunelu
Reconstruction of Polubenský Tunnel
Ing. Martin Svoboda, Bc. Jakub Vladík 4/2021 54
- Rekonstrukce Dolnolučanského tunelu a proces
rozhodování při návrhu technického řešení
*Reconstruction of Lučany nad Nisou Tunnel
and Decision-Making Process in Designing
Technical Solution*
Ing. Libor Mařík 4/2021 62
- Projekt a realizace Zvěrotického tunelu
Design and Construction of Zvěrotický Tunnel
Ing. Libor Mařík 4/2021 78
- Krušnohorský tunel – úvodní představení
Tunnel under Ore Mountains – Introduction
Mgr. Jiří Zmítko 4/2021 91

4. METRO
SUBWAY

- Aplikace metodiky BIM na projektu pražského metra D
*Application of BIM Methodology to Prague Metro
Line D Project*
Ing. Jiří Platil, Petr Ženíšek 1/2021 18
- Projekt bezbariérového zpřístupnění stanice metra
Karlovo náměstí
Barrier-Free Acces to Karlovo Náměstí Station
Ing. Jan Korejčík, Ing. Martina Urbánková,
Michal Kolevski 1/2021 28
- Ražba průzkumné štoly budoucího metra D – úsek OL1
*Excavation of Exploratory Gallery for Section OLI
of Future Metro D Line*
Ing. Ivo Gaja, Vladimír Tábořský 3/2021 33
- Tunely Järfälla
Järfälla Tunnels
Ing. Petr Mitrenga, Ph.D. 4/2021 4

5. KANALIZACE, KOLEKTORY, MALÉ PROFILY
SEWERAGE, UTILITY TUNNELS, SMALL PROFILE TUNNELS

- Realizace vodovodní shybky pomocí technologie
mikrotunelování
*Construction of Water-Supply Inverted Siphon
Using Microtunnelling Technique*
Ing. Jan Brabec, Ing. Ladislav Sommer,
Ing. Richard Schejbal 3/2021 55

6. SANACE, REKONSTRUKCE, ÚDRŽBA, OPRAVY
**RECONSTRUCTION, REINSTATING, MAINTENANCE,
REPARATION**

- Sanace tunelu Reicholzheim
Rehabilitation of Reicholzheim Tunnel
Ing. Jan Rožek 1/2021 54
- Standardizace rekonstrukcí tunelů Rhétské dráhy
ve Švýcarsku
*Standardisation of Reconstruction of Tunnels
on Rhaetian Railway in Switzerland*
Ing. ETH Flavio Modetta, Ing. Vlastimil Horák 2/2021 37

BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ
BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHEDČíslo Strana
Issue Page

- Rekonstrukce Podhradského tunelu
Podhradský Tunnel Reconstruction
Ing. Alice Wetterová, Ing. Jana Michaljaničová 2/2021 46
- Rekonstrukce Polubenského tunelu
Reconstruction of Polubenský Tunnel
Ing. Martin Svoboda, Bc. Jakub Vladík 4/2021 54
- Rekonstrukce Dolnolučanského tunelu a proces
rozhodování při návrhu technického řešení
*Reconstruction of Lučany nad Nisou Tunnel
and Decision-Making Process in Designing
Technical Solution*
Ing. Libor Mařík 4/2021 62

7. TEORIE, VÝZKUM, SLEDOVÁNÍ
THEORY, RESEARCH, MONITORING

- Aplikace metodiky BIM na projektu pražského metra D
*Application of BIM Methodology to Prague Metro
Line D Project*
Ing. Jiří Platil, Petr Ženíšek 1/2021 18
- Mezistropy v Královopolském tunelu
Intermediate Decks in Královo Pole Tunnel
Ing. Vlastimil Horák 1/2021 39
- Technické řešení úložiště radioaktivních odpadů v ČR
*Technical Solution to Underground Radioactive Waste
Repository in the Czech Republic*
Ing. Alexandr Butovič, Ph.D. 2/2021 3
- Zajímavé aspekty provozu Tunelového komplexu
Blanka
*Interesting Aspects of Operation of Blanka
Tunnel Complex*
Ing. Pavel Šourek, Ing. Lukáš Rákosník 2/2021 10
- Geotechnický průzkum pro tunel Vinohrady v Brně
*Geotechnical Exploration of the Vinohrady Tunnel
in Brno*
Ing. Adam Zapletal 3/2021 4
- Sledování změn v horninovém prostředí za obrysem
výrubu podzemního díla geoelektrickými metodami
*Monitoring of Changes in Ground Environment beyond
Underground Excavation Contour Using Geoelectric
Methods*
doc. RNDr. Pavel Bláha, DrSc.,
doc. RNDr. Pavel Pospíšil, Ph.D. 3/2021 11
- Geotechnický monitoring na stavbě tramvajového
tunelu v Brně
*Geotechnical Monitoring on Tram Tunnel Construction
in Brno*
Ing. Marek Polák, RNDr. Otakar Pazdírek,
Ing. Ondřej Hort 3/2021 22
- Některé otázky moderního inženýrskogeologického
a geotechnického průzkumu
*Some Issues of Modern Engineering Geology
and Geotechnical Investigation*
doc. Ing. Alexandr Rozsypal, CSc.,
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc. 3/2021 41
- Krušnohorský tunel – úvodní představení
Tunnel under Ore Mountains – Introduction
Mgr. Jiří Zmítko 4/2021 91

9. RŮZNÉ
MISCELLANEOUS

- Projekt bezbariérového zpřístupnění stanice metra
Karlovo náměstí
Barrier-Free Acces to Karlovo Náměstí Station
Ing. Jan Korejčík, Ing. Martina Urbánková,
Michal Kolevski 1/2021 28
- Mezistropy v Královopolském tunelu
Intermediate Decks in Královo Pole Tunnel
Ing. Vlastimil Horák 1/2021 39

BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ
BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED

 Číslo Strana
 Issue Page

- Technické řešení úložiště radioaktivních odpadů v ČR
Technical Solution to Underground Radioactive Waste Repository in the Czech Republic
Ing. Alexandr Butovič, Ph.D. 2/2021 3
- Zajímavé aspekty provozu Tunelového komplexu Blanka
Interesting Aspects of Operation of Blanka Tunnel Complex
Ing. Pavel Šourek, Ing. Lukáš Rákosník 2/2021 10
- Větrací šachta tunelu Kramer
Kramer Tunnel Ventilation Shaft
Ing. Jan Kubek, Ing. Daniel Josefik 2/2021 30
- Standardizace rekonstrukcí tunelů Rhétské dráhy ve Švýcarsku
Standardisation of Reconstruction of Tunnels on Rhaetian Railway in Switzerland
Ing. ETH Flavio Modetta, Ing. Vlastimil Horák 2/2021 37

11. TECHNOLOGIE
EQUIPMENT

- Optimalizace tunelových technologií založená na ontologickém modelu
Optimisation of Tunnel Equipment Based on Ontological Model
prof. Ing. Pavel Příbyl, CSc., Ing. Jiří Řehák 2/2021 64
- Sledování změn v horninovém prostředí za obrysem výrubu podzemního díla geoelektrickými metodami
Monitoring of Changes in Ground Environment beyond Underground Excavation Contour Using Geoelectric Methods
doc. RNDr. Pavel Bláha, DrSc., doc. RNDr. Pavel Pospíšil, Ph.D. 3/2021 11

12. ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB
THE WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

- Mozaika ze světa podzemních staveb
Ing. Miloslav Novotný 1/2021 60
2/2021 74
3/2021 70
4/2021 105
- Fehmarnbelt tunel – nejdelší podmořský naplavovaný tunel na světě
Fehmarnbelt Tunnel – Longest Subsea Immersed Tunnel in the World
prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. 1/2021 61
- Jak nebezpečné jsou hořící elektromobily?
How Dangerous are Burning Electric Cars?
Ing. Vlastimil Horák, Michael Kompatscher 1/2021 63
- Švýcarská příležitostná mince k projektu Neat ceneri
Swiss Occasional Coin on Neat Ceneri Project
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc. 1/2021 64
- Výstavba tunelů na rychlostní silnici M85 v Bécsi Domb, Maďarsko
Construction of Tunnels on M85 Express Highway, Bécsi Domb, Hungary
Ing. Jan Frantl, Ing. Gergely Bölskei 2/2021 75
- Problémy s tunelovým převedením silnice A303 oblastí světového kulturního dědictví Stonehenge
Problems with Tunnelled Diversion of Road A303 Across Stonehenge World Heritage Site
prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. 3/2021 71
- Významné výročí vzniku metra v Budapešti
Significant Anniversary of the Budapest Metro
prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. 4/2021 105

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

- Metro D – nová linka pražského metra
Metro D – New Line of Prague Metro
Ing. Boris Šebesta, Ing. Michal Šerák 1/2021 65

BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ
BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED

 Číslo Strana
 Issue Page

- Nové železniční tunely na IV. železničním koridoru
New Railway Tunnels on Railway Corridor IV
Tunel Mezno
Mezno Tunnel
Tunel Deboreč
Deboreč Tunnel
Ing. Tomáš Just 1/2021 67
- Železniční tunel Zvěrotice
Zvěrotice Rail Tunnel
Ing. Libor Mařík 1/2021 68
- Tunely na diaľničnej sieti
Tunnels on Motorway Network
Tunely Ovčiarско a Žilina
Ovčiarско and Žilina Tunnels
Tunel Prešov
Prešov Tunnel
Tunel Bikoš
Bikoš tunnel
Tunel Čebrať
Čebrať Tunnel
Tunel Višňové
Višňové Tunnel
Ing. Vladimír Ďurša, Ing. Jiří Břichňáč, Ing. Miroslav Frankovský 1/2021 69
- Tunely na železničnej sieti
Tunnels on Railway Network
Tunel Milochovo
Milochov Tunnel
Ing. Ján Kušnir 1/2021 71
- Metro D – nová linka pražského metra
Metro D – New Line of Prague Metro
Ing. Boris Šebesta, Ing. Michal Šerák 2/2021 76
- Nové železniční tunely na IV. železničním koridoru
New Railway Tunnels on Railway Corridor IV
Brno, Solniční I, rekonstrukce kanalizace
Brno, Solniční I, Reconstruction of Swerage
Ing. Tomáš Just 2/2021 78
- Železniční tunel Zvěrotice
Zvěrotice Rail Tunnel
Ing. Libor Mařík 2/2021 80
- Stavba I/42 Brno – VMO Žabovřeská I – etapa II
Road I/42 Brno – Large City Circle Road Žabovřeská I – Stage II
Ing. Jan Frantl, Ing. Václav Dohnálek 2/2021 81
- Tunely na diaľničnej sieti
Tunnels on Motorway Network
Tunel Prešov
Prešov Tunnel
Tunel Bikoš
Bikoš tunnel
Tunel Čebrať
Čebrať Tunnel
Tunel Višňové
Višňové Tunnel
Ing. Jiří Břichňáč, Ing. Zbyšek Staš, Ing. Miroslav Frankovský 2/2021 82
- Tunely na železničnej sieti
Tunnels on Railway Network
Tunel Milochovo
Milochov Tunnel
Ing. Ján Kušnir 2/2021 84
- Metro D – nová linka pražského metra
Metro D – New Line of Prague Metro
Ing. Boris Šebesta, Ing. Michal Šerák 3/2021 75
- Nové železniční tunely na IV. železničním koridoru
New Railway Tunnels on Railway Corridor IV
Ing. Tomáš Just 3/2021 75
- Železniční tunel Zvěrotice
Zvěrotice Rail Tunnel
Ing. Libor Mařík 3/2021 76

BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ
BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHEDČíslo Strana
Issue Page

- Stavba I/42 Brno – VMO Žabovřeská I – etapa II
*Road I/42 Brno – Large City Circle Road
Žabovřeská I – Stage II*
Ing. Jan Frantl, Ing. Václav Dohnálek 3/2021 78
- Tunely na diaľničnej sieti
Tunnels on Motorway Network
Tunel Prešov
Prešov Tunnel
Tunel Bikoš
Bikoš Tunnel
Tunel Čebrať
Čebrať Tunnel
Tunel Višňové
Višňové Tunnel
Ing. Jiří Břichňáč, Ing. Miroslav Frankovský 3/2021 79
- Tunely na železničnej sieti
Tunnels on Railway Network
Železničný tunel Milochov
Milochov Railway Tunnel
Ing. Ján Kušnir 3/2021 80
- Metro D – nová linka pražského metra
Metro D – New Line of Prague Metro
Ing. Boris Šebesta, Ing. Michal Šerák 4/2021 108
- Stavba I/42 Brno – VMO Žabovřeská I – etapa II
*Road I/42 Brno – Large City Circle
Road Žabovřeská I – Stage II*
Ing. Jan Frantl, Ing. Andrej Korba 4/2021 109
- Pamětní medaile
Commemorative Medal
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc. 4/2021 110
- Železniční tunel Zvěrotice
Zvěrotice Rail Tunnel
Ing. Libor Mařík 4/2021 110
- Tunely na diaľničnej sieti
Tunnels on Motorway Network
Tunel Prešov
Prešov Tunnel
Tunel Bikoš
Bikoš Tunnel
Tunel Čebrať
Čebrať Tunnel
Tunel Višňové
Višňové Tunnel
Ing. Jiří Břichňáč, Ing. Vladimír Kotrlík,
Ing. Miroslav Frankovský 4/2021 112
- Tunely na železničnej sieti
Tunnels on Railway Network
Železničný tunel Milochov
Milochov Railway Tunnel
Ing. Ján Kušnir 4/2021 115

14. ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ
NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCE

- Tunelářské odpoledne 1/2021
Tunnel Afternoon 1/2021
Ing. Markéta Prušková, Ph.D. 2/2021 76
- Tunelářské odpoledne 2/2021
Tunnel Afternoon 2/2021
Ing. Markéta Prušková, Ph.D. 3/2021 74
- Tunelářské odpoledne 3/2021
Tunnel Afternoon 3/2021
Ing. Markéta Prušková, Ph.D. 4/2021 107

15. ZPRÁVODAJSTVÍ ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE ITA-AITES
CZECH TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES REPORTS

- Oznámení o termínu konání valného shromáždění České tunelářské asociace ITA-AITES z.s.
Ing. Markéta Prušková, Ph.D. 2/2021 94
- Valné shromáždění CzTA ITA-AITES
General Assembly of ITA-AITES CzTA
Ing. Markéta Prušková, Ph.D. 4/2021 124

BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ
BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHEDČíslo Strana
Issue Page

- Poděkování
Acknowledgements
Ing. Boris Šebesta, předseda redakční rady časopisu Tunel 4/2021 126

17. VÝROČÍ
ANNIVERSARIES

- Životní jubileum Ing. Jiřího Růžičky
Life Anniversary of Ing. Jiří Růžička
Ing. Miroslav Novák 1/2021 78
- Životní jubileum Ing. Miroslava Nováka
Life Anniversary of Ing. Miroslava Nováka
Ing. Miroslav Kochánek 1/2021 79
- 75 let Ing. Jaromíra Zlámala
75 Years of Age of Ing. Jaromír Zlámala
doc. Dr. Ing. Jan Pruška, člen redakční rady časopisu Tunel 2/2021 91
- K šedesátinám Ing. Libora Maříka
To the Sixtieth Anniversary of Birth of Ing. Libor Mařík
prof. Jiří Barták, předseda redakční rady časopisu Tunel 2/2021 92
- Šedesátiny dostihly Ing. Borise Šebestu
Sixty Years of Age has Caught up with Ing. Boris Šebesta
Ing. Ivan Hrdina, předseda České tunelářské asociace ITA-AITES 2/2021 93
- Životní jubileum, Ing. Aleš Zapletal, DrSc.
Life Anniversary of Ing. Aleš Zapletal, DrSc.
Ing. Tomáš Louženský 4/2021 120
- Životní jubileum Ing. Miroslava Kochánka
Life Anniversary of Ing. Miroslav Kochánek
Ing. Miroslav Novák 4/2021 121

18. ROZLOUČENÍ
LAST FAREWELL

- Spomienka na Ing. Petra Čertíka
Memory of Ing. Peter Čertík
Ing. Štefan Choma 1/2021 80
- Zemřel Ing. Karel Matzner
Ing. Karel Matzner Died
Ing. Ivan Hrdina, předseda České tunelářské asociace ITA-AITES 4/2021 122

19. Z HISTORIE PODZEMNÍCH STAVEB
FROM THE HISTORY OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

- Pohlednice s krátkými tunely
Picture Postcards with Short Tunnels
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.,
Ing. Richard Svoboda, Ph.D.,
Ing. Martin Závacký 1/2021 73
- Pohlednice s železničními tunely ve Francii
Picture Postcards with Railway Tunnels in France
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.,
Ing. Richard Svoboda, Ph.D.,
Ing. Martin Závacký 2/2021 86
- Pohlednice s tunely v Německu III
Picture Postcards with Tunnels in Germany III
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.,
Ing. Richard Svoboda, Ph.D. 3/2021 82
- Litický tunel nejen na pohlednicích a fotografiích
Litice Tunnel not only on Picture Postcards and Photographs
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc., Ing. Václav Majer,
Ing. Richard Svoboda, Ph.D. 4/2021 116

20. Z ČINNOSTI PRACOVNÍCH SKUPIN CzTA
CzTA WORKING GROUPS

- Novinky z pracovní skupiny CzTA Young Members
News from Young Members Working Group of the CzTA
Dr.-Ing. Zdenek Žižka 3/2021 86
- První sympozium pracovní skupiny mladých tunelářů
First Symposium of Working Group of Young Tunnelers
Zdenek Žižka, Veronika Pavelcová, Simona Zetková 4/2021 123

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			K			Ř		
Barták, Jiří	1/2021	1, 61	Klímeck, Lubomír	3/2021	2	Řehák, Jiří	2/2021	64
	2/2021	92	Kochánek, Miroslav	1/2021	79			
	3/2021	71	Kolevski, Michal	1/2021	28	S		
	4/2021	105	Kompatscher, Michael	1/2021	63	Schejbal, Richard	3/2021	55
Bednařík, Kamil	1/2021	4	Korba, Andrej	4/2021	42, 109	Sommer, Ladislav	3/2021	55
Bláha, Pavel	3/2021	11	Korejčík, Jan	1/2021	28	Staš, Zbyšek	2/2021	82
Bölskei, Gergely	2/2021	75	Kotřík, Vladimír	4/2021	112	Stromček, Dalibor	4/2021	42
Brabec, Jan	3/2021	55	Krása, David	1/2021	2	Svoboda, Martin	4/2021	54
Břichňáč, Jiří	1/2021	69	Kubek, Jan	2/2021	30	Svoboda, Richard	1/2021	73
	2/2021	82		4/2021	26		2/2021	86
	3/2021	79	Kušnír, Ján	1/2021	71		3/2021	82
	4/2021	112		2/2021	1, 84		4/2021	116
Butovič, Alexandr	2/2021	3		3/2021	80			
				4/2021	115			
Č			L			Š		
Čurda, Jiří	4/2021	3	Louženský, Tomáš	2/2021	21	Šajtar, Ludvík	2/2021	2
				4/2021	120	Šebesta, Boris	1/2021	65
D			M				2/2021	76
Dohnálek, Václav	2/2021	81	Majer, Václav	4/2021	116		3/2021	75
	3/2021	78	Majerčík, Milan	3/2021	86		4/2021	108, 126
	4/2021	42	Mařík, Libor	1/2021	68	Šerák, Michal	1/2021	65
Đurša, Vladimír	1/2021	69		2/2021	80		2/2021	76
				3/2021	76		3/2021	75
F				4/2021	62, 78		4/2021	108
Farský, Pavel	4/2021	26			110	Šourek, Pavel	2/2021	10
Frankovský, Miloslav	1/2021	69	Michaljaničová, Jana	2/2021	46		4/2021	1
	2/2021	82	Mitrenga, Petr	4/2021	4	T		
	3/2021	79	Modeta, Flavio	2/2021	37	Táborský, Vladimír	3/2021	33
	4/2021	112	N					
Frantl, Jan	2/2021	75, 81	Novák, Miroslav	1/2021	78	U		
	3/2021	78		4/2021	121	Urbánková, Martina	1/2021	28
	4/2021	109	Novák, Ondřej	3/2021	3			
Froněk, Michal	1/2021	4	Novotný, Miloslav	1/2021	60	V		
Fuchs, Ondřej	4/2021	2		2/2021	74	Velička, Petr	4/2021	14
				3/2021	70	Vladík, Jakub	4/2021	54
				4/2021	105			
G			P			W		
Gaja, Ivo	3/2021	33	Pavelcová, Veronika	4/2021	123	Wetterová, Alice	2/2021	46
			Pazdírek, Otakar	3/2021	22	Z		
H			Pilařová, Eliška	2/2021	55	Zapletal, Adam	3/2021	4
Horák, Vladislav	1/2021	64, 73	Platil, Jiří	1/2021	18	Závadský, Martin	1/2021	73
	2/2021	86	Polák, Marek	3/2021	22		2/2021	86
	3/2021	1, 41, 82	Polák, František	2/2021	21		4/2019	76
	4/2021	110, 116	Pospíšil, Pavel	3/2021	11	Zetková, Simona	4/2021	123
Horák, Vlastimil	1/2021	3, 39, 63	Pruška, Jan	2/2021	91		4/2021	91
	2/2021	37	Prušková, Markéta	2/2021	76, 94			
Hort, Ondřej	3/2021	22, 66		3/2021	74			
Hrdina, Ivan	2/2021	93	Příbyl, Pavel	4/2021	107, 124			
	4/2021	122		2/2021	64			
CH			R			Ž		
Choma, Štefan	1/2021	80	Rákosník, Lukáš	2/2021	10	Ženíšek, Petr	1/2021	18
			Rozsypal, Alexandr	3/2021	41	Žižka, Zdeněk	1/2021	4
J			Rožek, Jan	1/2021	46, 54		3/2021	86
Josefík, Daniel	2/2021	30	Rychtecký, Josef	2/2021	55		4/2021	123
	4/2021	26						
Just, Tomáš	1/2021	59, 67						
	2/2021	78						
	3/2021	75						



Váš partner pro složité základové poměry

- ◆ Kompletní zajištění stavebních jam
- ◆ Hlubkové vibrační zhutňování
- ◆ Dynamické zhutňování
- ◆ Deep Soil Mixing
- ◆ Konsolidační geodrény
- ◆ Horizontální odvodňovací vrty
- ◆ Velkopřůměrové vrtané piloty, CFA
- ◆ Mikropiloty, DUCTILE piloty
- ◆ Trysková injektáž
- ◆ Klasické injektáže, Soilfrac ®
- ◆ Štětové stěny, těsnicí clony
- ◆ Dočasné a trvalé kotvy
- ◆ Hřebíkování zemin, stříkané betony
- ◆ Zpracování projektové dokumentace





PŘINÁŠÍME EXPERTNÍ ŘEŠENÍ

Jsme stavební firma s českým a mezinárodním know-how. Realizujeme technologicky náročné projekty v oblasti pozemního i dopravního stavitelství. Na český a slovenský trh přinášíme nejmodernější technologické postupy v oblastech výstavby, inženýringu i nových smluvních modelů. Zaměřujeme se zejména na ty segmenty trhu, ve kterých můžeme využít svou odbornost. Díky tomu přinášíme stabilní pracovní místa a generujeme dlouhodobě udržitelný zisk. Dbáme na bezpečnost práce, ale i profesní rozvoj a spokojený osobní život našich zaměstnanců.

Stavíme svět zítřka

