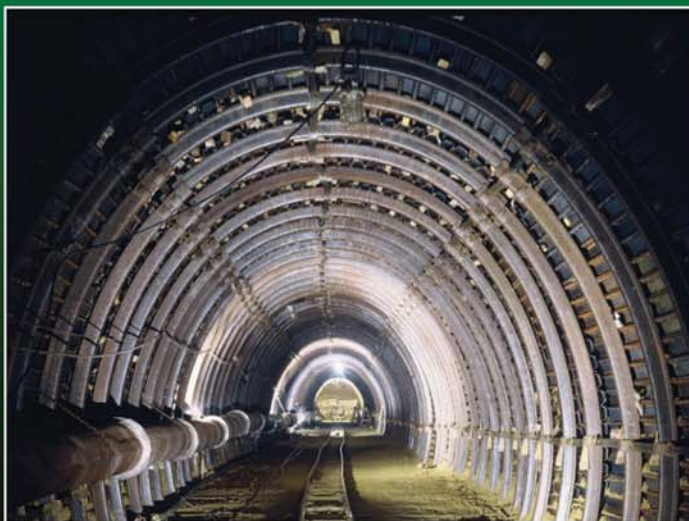
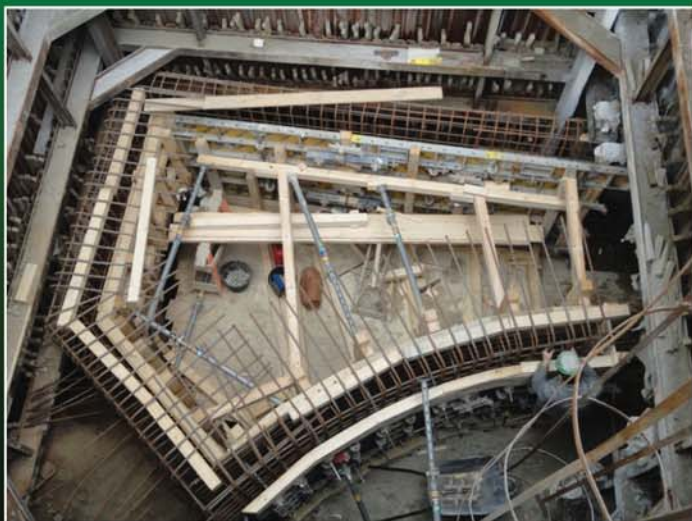


Tu nel

č. 2
2015

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





Stavební společnost POHL cz, a.s. provádí již 25 let komplexní dodávky rozsáhlých pozemních, inženýrských, vodohospodářských a podzemních staveb a rekonstrukce stávajících objektů ve všech regionech České republiky.

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

OBSAH

Editorial:

Ing. Václav Veselý, Ph.D., člen redakční rady časopisu Tunel	1
Úvodníky:	
Ing. Ivan Hrdina, výrobně-technický ředitel Metrostav a.s. a předseda CzTA ITA-AITES, z. s.	2
Ing. Petr Pohl, předseda představenstva POHL cz, a.s.	3
Zkušenosti z realizace tunelových staveb v severských zemích	
Ing. Jiří Mosler, Ing. Václav Pavlovský, METROSTAV a.s.	4
Uvedení nového úseku metra V.A do provozu, přehled stanic a traťových úseků, souhrn změn během výstavby	
Ing. Anna Svobodová, Ing. Jiří Junek, CSc., Ing. Miroslav Filip, METROSTAV a.s., Divize 8	12
Tunelový komplex Blanka – souhrn stavebních prací	
Ing. Jiří Valeš, Ing. Stanislav Falhar, Ing. Eva Kůrková, METROSTAV a.s.	24
Úslavský kanalizační sběrač v Plzni – 2. etapa	
Ing. Tomáš Zítka, POHL cz, a.s.	34
Zavážení trubek GRP do štol malých rozměrů	
Ing. Jaromír Zlámál, POHL cz, a.s.	48
Projekt kolektor Hlávkův most	
Ing. Václav Ráček, Ing. Jaromír Zlámál, INGUTIS, spol. s r. o.	56
Dokumentace a návrhy zajištění nestabilních podzemních prostor znojenského podzemí	
Ing. Richard Skopal, UNIGEO a.s., divize SANEKO, Ing. Jaroslav Ryšávek, Ph.D., UNIGEO a.s.	63
Použití hypoplastického modelu jemnozrnných zemin při numerickém modelování razby metodou NRTM	
Ing. Tomáš Kadlíček, Ing. Tomáš Janda, Ph.D., prof. Ing. Michal Šejnoha, Ph.D., ČVUT FSv, Ing. Josef Kuňák, Ing. Martina Urbánková, METROPROJEKT Praha a. s.	69
Fotoreportáž z tunelu Považský Chlmec	
Fotoreportáž ze slavnostního otevření prodloužení metra V.A 6. 4. 2015	84
Ze světa podzemních staveb	
Zprávy z tunelářských konferencí	90
Aktuality z podzemních staveb v České a Slovenské republice	
Výročí	94
Z historie podzemních staveb	
Zpravodajství České a Slovenské tunelářské asociace ITA-AITES	102

REDAKČNÍ RADA/EDITORIAL BOARD

Čeští a slovenští členové / Czech and Slovak members

prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. – Stavební fakulta ČVUT v Praze (předseda/Chairman)
Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D. – GEOTest, a.s.
Ing. Miloš Frankovský – TERRAPROJEKT, a. s.
doc. Ing. Matouš Hilar, Ph.D. – 3G Consulting Engineers, s.r.o.
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc. – VUT Brno, FAST
doc. RNDr. Eva Hrušková, Ph.D. – VŠB-TU Ostrava
RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D. – PUDIS a.s.
Ing. Viktória Chomová – STA
Ing. Jan Korejšek – Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.
Ing. Ján Kušnir – REMING CONSULT a. s.
Ing. Josef Kutil – Inženýring dopravních staveb a.s.
Ing. Miroslav Novák – METROPROJEKT Praha a. s.
Ing. Libor Mařík – IKP Consulting Engineers, s.r.o.
doc. Dr. Ing. Jan Pruška – Stavební fakulta ČVUT v Praze
prof. Ing. Pavel Příbyl, CSc. – ELTODO, a.s.
Ing. Boris Šebesta – METROSTAV a.s.
doc. Ing. Richard Šnupárek, CSc. – Ústav geoniky AVČR v.v.i.
Ing. Pavel Šourek – SATRA, spol. s r.o.

VYDAVATEL

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

DISTRIBUCE

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

REDAKCE

Dělnická 12, 170 00 Praha 7, tel.: +420 702 062 610
e-mail: pruskova@ita-aites.cz
web: http://www.ita-aites.cz
Vedoucí redaktor: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.
Odborní redaktori: doc. Dr. Ing. Jan Pruška, Ing. Pavel Šourek, RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D., Ing. Jozef Frankovský
Grafické zpracování: DTP Martin Pek, nám. T. G. Masaryka 737, 290 01 Poděbrady
Tisk: H.R.G. spol. s r. o., Litomyšl
Foto na obálce: První jízda vlakovou soupravou na trase metra V.A foto Ing. Jiří Junek, CSc.

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. Václav Veselý, Ph.D., Editorial Board Member	1
Ing. Ivan Hrdina, Chief Operations and Technology Officer of Metrostav a.s. and Chairman of the ITA-AITES CzTA	2
Ing. Petr Pohl, Chairman of the Board of Directors of POHL cz, a.s.	3
Experience from Tunnel Structures Carried out in Nordic Countries	
Ing. Jiří Mosler, Ing. Václav Pavlovský, METROSTAV a.s.	4
Inauguration of the New Metro Section V.A, Overview of Stations and Track Sections, Summary of Changes during Construction	
Ing. Anna Svobodová, Ing. Jiří Junek, CSc., Ing. Miroslav Filip, METROSTAV a.s., Divize 8	12
Blanka Complex of Tunnels – Construction Work Overview	
Ing. Jiří Valeš, Ing. Stanislav Falhar, Ing. Eva Kůrková, METROSTAV a.s.	24
Úslava Interceptor Sewer in Pilsen – Stage 2	
Ing. Tomáš Zítka, POHL cz, a.s.	34
Transporting GRP Tubes through Small-Size Galleries	
Ing. Jaromír Zlámál, POHL cz, a.s.	48
Hlávká Bridge Utility Tunnel Design	
Ing. Václav Ráček, Ing. Jaromír Zlámál, INGUTIS, spol. s r. o.	56
Documentation and Proposals for Securing Instable Spaces of Znojmo Underground	
Ing. Richard Skopal, UNIGEO a.s., divize SANEKO, Ing. Jaroslav Ryšávek, Ph.D., UNIGEO a.s.	63
Application of Hypoplastic Model of Fine-Grained Soils in Numerical Modelling of NATM Tunnelling	
Ing. Tomáš Kadlíček, Ing. Tomáš Janda, Ph.D., prof. Ing. Michal Šejnoha, Ph.D., ČVUT FSv, Ing. Josef Kuňák, Ing. Martina Urbánková, METROPROJEKT Praha a. s.	69
Picture Report from Považský Chlmec Tunnel	83
Picture Report from the Inauguration of the Metro V.A	
Extension on 06/04/2015	84
The World of Underground Constructions	88
News from Tunnelling Conferences	90
Current News from the Czech and Slovak Underground Construction	92
Anniversaries	94
From the History of Underground Constructions	98
Czech and Slovak Tunnelling Association ITA-AITES Report	102

Ing. Václav Veselý – ARCADIS CZ a.s.
Ing. Ondrej Vida – SKANSKA SK, a. s.
Ing. Jan Vintera – Subterra a.s.
Ing. Jaromír Zlámál – 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. John A. Hudson – IMPERIAL COLLEGE, UK
Prof. Dimitrios Kolymbas – UNIVERSITY OF INNSBRUCK, Austria
Prof. In-Mo Lee – KOREA UNIVERSITY, South Korea
Prof. Daniele Peila – POLITECNICO DI TORINO, Torino, Italy
Prof. Wulf Schubert – GRAZ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Austria
Prof. Ove Stephansson – GFZ Potsdam, Germany
Prof. Walter Wittke – WBI GmbH, Germany

PUBLISHED FOR SERVICE USE

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

DISTRIBUTION

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

OFFICE

Dělnická 12, 170 00 Praha 7, tel./fax: +420 266 793 479
e-mail: pruskova@ita-aites.cz
web: http://www.ita-aites.cz
Editor-in-chief: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.
Technical editors: doc. Dr. Ing. Jan Pruška, Ing. Pavel Šourek, RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D., Ing. Jozef Frankovský
Graphic designs: DTP Martin Pek, nám. T. G. Masaryka 737, 290 01 Poděbrady
Printed: H.R.G. spol. s r. o., Litomyšl
Cover photo: The first train journey on the metro Line V.A photo courtesy of Ing. Jiří Junek, CSc.

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

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

CZTA:

Čestní členové:

prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc.
prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.
Ing. Jindřich Hess, Ph.D.
Ing. Karel Matzner

Členské organizace:

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

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

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

ARCADIS CZ a.s.
Geologická 4/988
152 00 Praha 5

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

Stavební fakulta ČVUT v Praze
Thákurova 7
166 29 Praha 6

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

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

Energie - stavební a báňská a.s.
Vašíčkova 3081
272 04 Kladno

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

FAKULTA STAVEBNÍ VUT v Brně
Veveří 331/95
602 00 Brno

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

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

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

IKP Engineers Group, s.r.o.
Classic 7 – budova C
Jankovcova 1037/49
170 00 Praha 7

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

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

Inženýring dopravních staveb a.s.
Na Moráni 3/360
128 00 Praha 2-Nové Město

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

MAPEI, spol. s r.o.
Smetanova 192/33
772 11 Olomouc

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

METROSTAV a.s.
Koželušská 2450/4
180 00 Praha 8

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

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

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

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

Pöyry Environment a.s.
Botanická 834/56
656 32 Brno

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

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

PROMINECON CZ a.s.
Revoluční 25/767
110 00 Praha 1

PUDIS a.s.
Nad vodovodem 2/3258
100 31 Praha 10

ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR
Čerčanská 12
140 00 Praha 4

SAMSON PRAHA, spol. s r. o.
Týnská 622/17
110 00 Praha 1

SATRA, spol. s r.o.
Sokolská 32
120 00 Praha 2

SIKA CZ, s.r.o.
Bystřská 1132/36
624 00 Brno

SMP CZ, a.s.
Pobřežní 667/78
186 00 Praha 8

SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ
RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ
Dlážděná 1004/6
110 00 Praha 1-Nové Město

Subterra a.s.
Koželušská 2246/5
180 00 Praha 8 - Libeň

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

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

UNIVERZITA PARDUBICE
Dopravní fakulta Jana Pernera
Studentská 95
532 10 Pardubice

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

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

VIS, a.s.
Bezová 1658
147 01 Praha 4

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

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

STA:

Čestní členovia:

doc. Ing. Koloman V. Ratkovský, CSc.
Ing. Jozef Frankovský
prof. Ing. František Klepsatel, CSc.
Ing. Juraj Keleši

Členské organizácie:

ALFA 04, a. s.
Jašíkova ul. 6
821 03 Bratislava

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

APOLLOPROJEKT, s. r. o.
Vlčie hrdlo
P.O. BOX 56
820 03 Bratislava

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

BASF Slovensko, s. r. o.
Prievozská 2
821 09 Bratislava

BASLER & HOFMANN SLOVAKIA,
s. r. o.
Panenská 13
811 03 Bratislava

BEKAERT Hlohovec, a. s.
Mierová ul. 2317
929 28 Hlohovec

DOPRASTAV, a. s.
Drieňová ul. 27
826 56 Bratislava

GEOCONSULT, spol. s r. o.
Miletičova 21
P.O.BOX 34
820 05 Bratislava

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

GEOMONTA-HARMANEC, spol. s r. o.
Majerská cesta 36
974 01 Banská Bystrica

GEOstatik, a. s.
Kragujevská 11
010 01 Žilina

HYDROBETON, s. r. o.
Staviteľ'ská 3
831 04 Bratislava

HYDROTUNEL, spol. s r. o.
Mojmírova ul.14
P.O.BOX 16
927 01 Bojnice

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

MACCAFERRI CENTRAL EUROPE,
spol. s r. o.
Štverník 662
906 13 Brezová pod Bradlom

MAPEI SK, s. r. o.
Nádražná 39
900 28 Ivanka pri Dunaji

MC – BAUCHEMIE, s. r. o.
Na Pántoch 10
831 06 Bratislava

NÁRODNÁ DIAĽNIČNÁ
SPOLOČNOSŤ, a. s.
Mlynské nivy 45
821 09 Bratislava

OBO Bettermann s.r.o.
Viničianska cesta 13
902 01 Pezinok

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

PUDOS PLUS, spol. s r. o.
Račianske Mýto 1/A
839 21 Bratislava 32

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

REMING CONSULT, a. s.
Trnavská cesta 27
831 04 Bratislava

RENESCO, a. s.
Panenská 13
811 03 Bratislava

SIKA SLOVENSKO, spol. s r. o.
Rybničná 38/e
831 06 Bratislava

SKANSKA SK, a. s.
Závod Tunely
Košovská cesta 16
971 74 Prievidza

SLOVENSKÁ SPRÁVA CIEST
Miletičova ul. 19
826 19 Bratislava

SLOVENSKÉ TUNELY, a. s.
Lamačská cesta 99
841 03 Bratislava

SM 7, a. s.
Organizačná zložka
Mlynské nivy 41
821 09 Bratislava

SOLHYDRO, spol. s r. o.
Ponónska cesta 17
P.O.BOX 169
850 00 Bratislava

STI, spol. s r. o.
Hlavná 74
053 42 Krompachy

STU, Stavebná fakulta
Katedra geotechniky
Radlinského 11
813 68 Bratislava

TAROSI c.e., s.r.o.
Slávičie údolie 106
811 01 Bratislava

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

TERRAPROJEKT, a. s.
Podunajská 24
821 06 Bratislava

TUBAU, a. s.
Bytčická 89
010 09 Žilina

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.
Fraňa Kráľa 2
052 80 Spišská Nová Ves

ÚSTAV GEOTECHNIKY SAV
Watsonova ul. 45
043 53 Košice

VÁHOSTAV-SK, a. s.
Hlinská 40
010 18 Žilina

VUIS-Zakladanie stavieb, spol. s r. o.
Kopčanska 82/c
851 01 Bratislava

ŽELEZNICE SR
Klemensova 8
813 61 Bratislava

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



Vážené čtenářky a čtenáři,

dostává se vám do ruky druhé číslo 24. ročníku časopisu Tunel. Čtení je to opět zajímavé a inspirující. Na úvod dovolu trochu osobních pocitů: možná společně s vámi prožívám v těchto dnech ambivalentní pocity. Na jedné straně jsem upřímně hrdý na příslušnost k odborné tunelářské společnosti České a Slovenské republiky, na straně druhé zažívám smutnější pocity při sledování komentářů naší práce ve sdělovacích prostředcích. V současné době předáváme jako odborný cech k veřejnému užívání mimo jiné dvě zásadní podzemní stavby: prodloužení metra trasy A do Motola a tunelový komplex Blanka. Na světových odborných fórech sklízíme za tato komplexní díla uznání, na domácí veřejné scéně jsme povětšinou haněni. Prosím, neklesejme na mysli, budme dále hrdi na svou profesionální práci. Věřím, že světovou odbornou veřejnost jsme o naši profesionalitu již přesvědčili, nezbývá nám než přesvědčit i tu domácí, laickou. Je to běh na dlouhou trať, máme ale v rukou trumfy: za poslední desetiletí jsme předali do užívání desítky velmi úspěšných projektů na železničních koridorech, dálniční síti a v intravilánu velkých i malých měst jak v České a Slovenské republice, tak i v zahraničí. Vymažeme jednou a provždy hanlivý podtext slova „tunelář“ a vraťme mu jeho původní význam, který si zaslouží. Pevně věřím, že i tento časopis k tomu nemalou měrou přispívá.

Vydání, které se právě chystáte pročíst, je věnováno společností Metrostav a.s. a POHL cz, a.s. První článek pracovníků firmy Metrostav je pokračováním dlouhé a úspěšné série o aktivitách firmy Metrostav ve Skandinávii, na který navazují dva články přinášející další aspekty projektů prodloužení trasy pražského metra V.A a tunelového komplexu Blanka. Tentokrát z pohledu změn během výstavby v případě projektu metra V.A, resp. komplexní informace s časovou návazností stavebních prací na tunelech Blanka.

Články pracovníků firmy POHL cz, a.s. vás zavedou do podzemí měst, kde jsou ve stísněných podmínkách řešeny technické výzvy při ražbách kanalizačních sběračů a kolektorů. Další článek, prezentovaný pracovníky firmy UNIGEO a.s., vás seznámí s dokumentací a sanací prostor historického podzemí města Znojma. V závěru časopisu si budete moci díky společnému článku zástupců ČVUT FSv a firmy Metroprojekt ověřit, jak spolu koreluje předpoklady hypoplastického matematického modelu podloží s reálným chováním díla při jeho provádění. V neposlední řadě si můžete povšimnout stručných zajímavostí ze světa podzemních staveb uvedených na závěr v časopise.

Vážení přátelé podzemí, přeji vám inspirativní čtení, tentokrát v čase přicházejícího léta.

Ing. VÁCLAV VESELÝ, Ph.D., člen redakční rady

Dear readers,

The second issue of the 24th annual edition of TUNEL journal which is arriving in your hand again offers interesting and inspiring reading. In the introduction, let me present some personal feelings: it is possible that these days I am experiencing ambivalent feelings together with you. On the one hand, I am honestly proud of my affiliation to the professional tunnelling society of the Czech and Slovak Republics; on the other hand, I am experiencing sadder feelings when I follow comments on our work in the media. We, as a professional guild, have handed over, apart from other structures, two crucial underground structures to the public use: the extension of the metro line A to Motol and the Blanka complex of tunnels. On the one hand, we reap recognition for these comprehensive works at professional forums in the world, whilst, on the other hand, we are mostly disparaged in the domestic public arena. Please, let us not lose heart and continue to be proud of our professional work. I am confident that we have already convinced the global professional community of our professionalism; we have no other solution than to persuade even the domestic, lay public. It is a long time run, but we have got trump cards in hand: during the past decade, we put into service tens of very successful projects on railway corridors, the motorway network and in urban areas of big as well as small towns both in the Czech and Slovak Republics and abroad. Let us erase once and forever the defamatory undertone of the word “tunneller” and return the original well deserved meaning to it. I firmly believe that even this journal contributes in no small way to it.

The journal issue you are just going to read through is dedicated to the companies of Metrostav a.s. and POHL cz, a.s. The first paper by employees of Metrostav a. s. is the continuation of a long and successful series dedicated to Metrostav activities in Scandinavia. This paper is followed by two papers bringing other aspects of the projects for the extension of the metro line A and the Blanka complex of tunnels. This time it is from the aspect of changes during the course of the construction in the case of the metro V.A construction and the comprehensive information with the time sequence of construction works on the Blanka tunnels.

The papers by employees of POHL cz, a.s. will take you to the underground of towns where technical challenges following from constricted spaces are solved during the excavation of interceptor sewer tunnels and utility tunnels. The next paper, which is presented by employees of UNIGEO a.s., will acquaint you with the documentation and work on the rehabilitation of the historic underground spaces of the town of Znojmo. In the journal conclusion you will be able, thanks to a paper prepared jointly by representatives of the Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University and Metroprojekt a. s., to verify how assumptions of a hypoplastic mathematical model correlate with the real behaviour of the excavation during the course of the works execution. At last but not least, you can notice brief interesting facts from the world of underground construction, which are presented at the journal end.

Dear friends of the underground, I wish you inspiring reading, this time during the period of the coming summer.

Ing. VÁCLAV VESELÝ, Ph.D., Editorial Board member



VÁŽENÍ ČTENÁŘI ČASOPISU TUNEL!

Jsem rád, že vás mohu oslovit jménem akciové společnosti Metrostav a.s. právě v souvislosti s vydáním čísla 2/2015 časopisu Tunel, ve kterém můžete najít více informací o aktivitách naší společnosti.

Všichni víme, že situace na trhu stavebních prací je již delší dobu špatná. Týká se to samozřejmě i oboru podzemních staveb, protože trvalý recese se projevuje absencí větších či velkých infrastrukturálních projektů především dopravního charakteru, které by uplatnění tunelářských kapacit mohly zajistit. Podle ekonomických teorií je každá recese dříve či později vystřídána obdobím růstu, a protože recese trvá již skoro sedm let, chceme doufat, že v nepříliš vzdálené budoucnosti nastane obrát k lepšímu.

Metrostav a.s. měl to štěstí, že v minulém období realizoval dva velké dopravní projekty, a to tunelový komplex Blanka a prodloužení trasy metra A. Investorem obou projektů bylo hlavní město Praha a výstavba probíhala přibližně ve stejném období. Největší a velmi nepříjemný rozdíl mezi nimi bohužel pocítují ti, pro které se stavby realizovaly. Zatímco cestující mohou již od 6. dubna 2015 jezdit na trase A až do nové konečné stanice v Motole, automobilisté na tolik potřebný provoz tunelu Blanka stále čekají. Proč náročná stavba prodloužení trasy metra A byla po v podstatě nekomplikovaném průběhu včas uvedena do provozu a proč se to nepodařilo u jistě poněkud náročnější stavby tunelového komplexu Blanka? Není možné a ani vhodné snažit se o odpověď na tuto otázku v rámci textu tohoto úvodníku. Každou velkou stavbu vždy potká řada nepředvídaných skutečností, někdy i takových, které dodavatel nemůže ovlivnit a sám vyřešit.

Pokud se ještě vrátím k již provozované prodloužené trase metra A, doufám, že uživatelé ocení i kvalitu provedení díla. Protože kvalitní výsledek závisí na profesionalitě a zodpovědnosti každého účastníka výstavby včetně mnoha poddodavatelů, chtěl bych zde všem našim partnerům na této stavbě vyslovit dík.

Na výše zmíněnou nedobrou situaci na českém stavebním trhu reagoval Metrostav a.s. také tím, že se zaměřil na podnikání v zahraničí. V současnosti toto portfolio činí asi 30 % obrátu společnosti. Působíme v zemích jako je Island, Norsko, Finsko, Polsko, Bělorusko a Slovensko. Podali jsme nebo podáváme nabídky na metro v Sofii a Varšavě i na další zajímavé projekty.

Závěrem mi dovolu, abych využil této příležitosti a vyzval vás k přihlášení a zpracování příspěvků pro 13. mezinárodní konferenci *Podzemní stavby Praha 2016*, se kterou se současně bude konat v Praze ve dnech 23. – 25. 5. 2016 i 3. *Východoevropská tunelářská konference*. Samozřejmě vás již dnes do Prahy v květnu 2016 i jménem české asociace ITA-AITES srdečně zvu.

Vážené kolegyně a kolegové, přeji vám krásné prožití letního období s pěknými zážitky na vašich zasloužených letních dovolených.



DEAR TUNEL JOURNAL READERS,

I am happy that I can address you on behalf of Metrostav a.s. joint stock company in connection with the publication of issue 2/2015 of TUNEL journal, where you can find more information on the activities of our company.

We all know that the situation on the construction market has been bad already for a rather long time. It naturally applies even to the field of underground construction. The reason is that the continuing recession manifests itself by the absence of larger or large infrastructure projects, first and foremost of the character of structures for transport, which could ensure the use of tunnel construction capacities. According to economic theories, each recession is sooner or later replaced by a period of growth; because of the fact that the current recession has lasted for seven years, we are going to hope that a turn for the better will take place in the not too distant future.

Metrostav a.s. was lucky that it realised two large transport-related projects in the past period, i.e. the Blanka complex of tunnels and the extension of metro line A. The City of Prague was the owner of the two projects and the construction was carried out during an approximately identical period. The biggest and very unpleasant difference between them is unfortunately felt by people the projects were realised for. Whilst passengers can travel along the line A up to the new terminus in Motol already from the 6th April 2015, motorists are still waiting for the so much needed bringing of the Blanka tunnel into service. Why was the demanding project for the extension of the metro line A opened to traffic on time after the in substance uncomplicated course of work, and why it failed in the case of the slightly more complicated project for the Blanka complex of tunnels? It is not possible and it is even inappropriate to try to answer this question within the framework of the text of this leader. Each large construction project always encounters many unforeseen problems, sometime even such ones which a contractor cannot influence and solve on his own.

If I again return to the already operating extended metro line A, I believe that users will even appreciate the quality of the completed works. Because a good quality result depends on professionalism and responsibility of each participant in the construction, including many sub-contractors, I would like to express my thanks to all of our project partners.

Metrostav a.s. responded to the above-mentioned unfavourable situation, among other measures, by focusing its business activities abroad. At the moment, this portfolio amounts to approximately 30% of the company turnover. We work in such countries as Iceland, Norway, Finland, Poland, Belarus and Slovakia. We submitted or are in the process of submitting tenders for metro in Sofia and Warsaw and other interesting projects.

To conclude, let me take this opportunity and ask you to register and prepare papers for the 13th international conference *Underground Construction Prague 2016*, which will be held in Prague from the 23rd to 25th May 2016, jointly with the 3rd *Eastern European Tunnelling Conference*. Of course, I am already today cordially inviting you to Prague in May 2016, even on behalf of the ITA-AITES Czech Tunnelling Association.

Dear colleagues, I wish you a pleasant summer season with nice experiences during your well-deserved summer holidays.

ING. IVAN HRDINA

výrobně-technický ředitel Metrostav a.s.
a předseda CzTA ITA-AITES, z. s.

Chief Operations and Technology Officer of Metrostav a.s.
and Chairman of the ITA-AITES CzTA

VÁŽENÍ ČTENÁŘI,

Je mi ctí, že vás mohu ze stránky našeho časopisu pozdravit. Naposled jsem měl tu příležitost v 9. ročníku časopisu Tunel ve čtvrtém čísle roku 2000. Při porovnání někdejší a současné fotografie je vidět délka těch patnácti let, let naplněných poctivou prací nás, všech členů asociace, ve kterých jsme se podíleli na realizaci řady veřejně prospěšných podzemních staveb.

V těchto dnech je tomu právě 25 let, kdy jsem, jak říkávám, z mladistvé nerozvážnosti pod značkou POHL tunelářské a stavební práce začal podnikat a nevědomky položil základy něčeho, co snad dnes může být označováno stavební společností. Říkám si, jak snadno se píše úvodník ředitelům velkých společností, za kterými jsou vidět stěžejní díla podzemního stavitelství. Nicméně i v jejich konkurenci jsme někdy uspěli a jindy jsme měli příležitost na jejich stavbách přiložit ruku k dílu.

Za těch uplynulých 25 let naše společnost postavila řadu kanalizačních sběračů, včetně těch prováděných nemechanizovanými štíty, kolektorů, kabelových tunelů, podchodů železničních tratí, za použití frézovacích i trhačích prací.

Měli jsme příležitost podejít dno největší české řeky Labe v Hradci Králové při ražbě kanalizačního sběrače a řeku Vltavu v Praze při stavbě kabelového tunelu. Vyhlobili jsme řadu šachet hloubky 60–70 m pro čisticí technologii Deepshaft. Všichni denně řešíme spoustu nejen technických problémů. Patří k nim jistě velmi silné konkurenční prostředí a komplikovaná rozhodnutí politiků, která mají silný vliv na oblast veřejných zakázek. K dobré náladě nepřispívá ani veřejné mínění, značně ovlivňované médii, které nevidí v týmech vedoucích stavebních společnosti řádné hospodáře, snažící se uživit své zaměstnance, dbající o rozvoj své firmy, která daněmi přispívá na správu a rozvoj naší země. I překonávání takového výchozího problému by mělo pro nás být spíše výzvou.

Dovolte mi, abych vám popřál neutuchající chuť do života a práce, optimismus při řešení každodenních problémů a šťastnou ruku při obtížných rozhodnutích.

**DEAR READERS,**

I am greatly honoured to be allowed to greet you on the pages of our journal. The last time I had this opportunity in the 9th annual edition of TUNEL journal, in the fourth issue of 2000. If we compare pictures from that time with current pictures, we can see the effect of these fifteen years, which were filled with thorough work of all of us, members of the association, during which we participated in the realisation of many underground public structures.

These days it is just 25 years when I, as I am used to say “for the reason of youthful indiscretion”, started to do business under the brand name of POHL tunnelling and civil engineering work and, unknowingly laid the foundation of something what can today be designated as a construction company. I say to myself how easy it is for the directors of big companies with crucial underground construction works in their portfolios to write leaders for magazines. Nevertheless, we have sometimes been successful even in competitions with them. On other occasions we had the opportunity to lend a hand to their contracts.

During the past 25 years, our firm carried out many interceptor sewers, including those driven by non-mechanised shields, utility tunnels, cable tunnels and crossings under rail tracks, using road-headers and blasting operations.

We had the opportunity to pass under the bottom of the biggest Czech river, the Elbe, in the town of Hradec Králové, during the construction of the excavation of the tunnel for an interceptor sewer and during the construction of a cable tunnel under the Vltava River bottom in Prague. We sank many 60-70m deep shafts for the Deepshaft sewage treatment technology. We all daily solve numbers of problems, not only technical ones. Among them, there are certainly the highly competitive environment and complicated decisions of politicians having strong influence on the field of public procurement. In addition, good mood is not boosted by the public opinion, which is significantly affected by the media, which do not see the teams of leading construction companies as professionals striving for supporting their employees and caring about the development of their firms which contribute to the management and development of our country through the payment of taxes. Overcoming such problems should rather be a challenge for us.

Let me wish you unflagging zest for life and work, optimism in solving everyday problems and lucky hand in making difficult decisions.

ING. PETR POHL

*předseda představenstva POHL cz, a.s.
Chairman of the Board of Directors of POHL cz, a.s.*

ZKUŠENOSTI Z REALIZACE TUNELOVÝCH STAVEB V SEVERSKÝCH ZEMÍCH

EXPERIENCE FROM TUNNEL STRUCTURES CARRIED OUT IN NORDIC COUNTRIES

JIŘÍ MOSLER, VÁCLAV PAVLOVSKÝ

ABSTRAKT

Cílem článku je shrnutí informací a poznatků získaných za dobu působení akciové společnosti Metrostav ve skandinávských zemích. Společnost působí na severu Evropy nepřetržitě od roku 2006 a za tuto již poměrně dlouhou dobu nasbírali pracovníci Metrostavu řadu neocenitelných zkušeností, o které se se čtenáři časopisu Tunel pravidelně dělí. Obsahově navazuje na již uveřejněné články zabývající se detailním popisem dosud realizovaných projektů a navazujících specifických témat v časopisu Tunel č. 2/2007, 3/2008, 3/2009, 3/2011, 1/2013 a 2/2014. Záměrem článku není opakovat již uveřejněné detailní technické informace, ale chronologicky seřadit a zrekapitulovat nabyté zkušenosti s určitým nadhledem umožněným časovým odstupem od realizace velké části severských projektů Metrostavu a připomenout čtenáři, že české stavební firmy si dnes musí vydobýt významnou část svého obrátu v rámci zahraničních zakázek.

ABSTRACT

The objective of the paper is to summarise information and knowledge obtained during the period of the activities of Metrostav s. s. in Scandinavian countries. The company has been active in the north of Europe continually since 2006 and during this period its employees have gathered lots of invaluable experience, which they have regularly shared with Tunnel journal readers. The paper content builds on papers dealing with the description of completed structures and related topics previously published in Tunnel journal issues No. 2/2007, 3/2008, 3/2009, 3/2011, 1/2013 a 2/2014. The intention of the paper is, instead of repeating the already published detailed technical information, to chronologically arrange and recapitulate the gathered experience with a detached view possible thanks to the time elapsed from the completion of a significant part of Metrostav's nordic projects and to remind the reader of the fact that Czech construction companies today have to win a substantial part of their turnover within the framework of foreign contracts.

ÚVOD

Dokončování velkých tunelových projektů v ČR (např. tunely Panenská a Libouchec, Nové spojení v Praze, metro IV.C atd.) a výhled útlumu soutěží s tunely při sílícím konkurenčním tlaku na stavebním trhu v ČR a na Slovensku společně s potřebou uplatnění svých tunelářských kapacit přiměly Metrostav po roce 2004 k zahájení intenzivní marketingové a obchodní činnosti se zaměřením na tunelové stavby v zahraničí. Výstavbou podzemních projektů je v rámci a. s. Metrostav pověřena Divize 5. Průlomovým rokem se stal rok 2006, kdy Metrostav úspěšně vysoutěžil svůj první skandinávský silniční projekt Hédinsfjörðargöng na Islandu a učinil tak první, velmi důležitý krok při svém tažení na sever (obr. 1).

REKAPITULACE REALIZOVANÝCH PROJEKTŮ

Island 2006

Výstavbu prvního islandského projektu s tunely Siglufjörður a Ólafsfjörður (obr. 2) v celkové délce 11 025 m realizoval Metrostav ve sdružení s místní firmou Háfell, jejíž hlavní přínos spočíval kromě znalosti místních poměrů především v jazykové vybavenosti, neboť veškerá komunikace byla investorem nařízena v islandštině. Při výstavbě obou tunelů museli raziči a technici Metrostavu překonat řadu překážek a obtíží jak v souvislosti se zavedením metody DRILL&BLAST uplatňované při ražbě skandinávských tunelů, tak kvůli složitým přírodním, geologickým a hydrogeologickým poměrům. Na pozici vedoucího projektu působili

INTRODUCTION

The process of completing large tunnel construction projects in the Czech Republic (e.g. the Panenská and Libouchec tunnels, the New link in Prague project, the metro line extension IV.C etc.) and the future prospects of checks on competitions comprising tunnels during the time of increasing competition on the construction market in the Czech and Slovak Republics, together with the need for the application of production capacities, forced Metrostav a.s. after 2004 to start intense marketing and commercial activities focused on tunnel construction projects abroad. Metrostav has charged its Division 5 with the task to carry out underground construction projects. The breakthrough happened in 2006, when Metrostav a. s. succeeded in the competition and won its first Scandinavian road project, the Hédinsfjörðargöng in Iceland, taking thus the first, very important, step of its campaign toward the north (see Fig. 1).

RECAPITULATION OF COMPLETED PROJECTS

Iceland 2006

The construction of the its first project in Iceland comprising the Siglufjörður and Ólafsfjörður tunnels (see Fig. 2) at the total length of 11,025m was carried out by Metrostav in association with a local contractor, Háfell, the main contribution of which lied, apart from the knowledge of local conditions, in language skills, since all communications were ordered by the project owner to be in Icelandic. During the construction of both tunnels, Metrostav's miners and technicians had to overcome many obstacles and difficulties associated



Obr. 1 Přehledná mapa projektů
Fig. 1 Synoptic map of the projects

postupně Ing. David Cyroň, Ing. Petr Živnůstka a Ing. Ermín Stehlík, finále stavby zajišťoval Ing. Aleš Richter.

Jako příklad působení drsných místních klimatických podmínek lze uvést zahajování výstavby na podzim 2006, kdy silný poryv větru odnesl právě postavenou halu pro údržbu mechanizace o několik desítek metrů dál a zcela ji zdemoloval. Prudký, často nárazový a ledový vítr byl společníkem českých tunelářů po celou dobu působení na Islandu. V zimních měsících pak bylo nutno poradit si s přívaly sněhu, kdy nejen hlavní a přístupové komunikace, ale i vlastní portály tunelů byly častokrát zaváty až několikametrovou vrstvou sněhu.

Klíčovou prověrku tunelářů představovaly složité hydrogeologické poměry, kdy musela být ražba opakovaně přerušena z důvodů zdolávání enormního množství tlakové podzemní vody pronikající do oblasti čelby tunelu. Takovéto poměry nebyly dosud na Islandu předpokládány ani v zadání soutěže a vzhledem ke kombinaci objemu, tlaku a velice nízké teploty podzemní vody se jednalo o extrémně složité podmínky, které byly dosud zastíženy pouze na několika jednotlivých projektech na světě.

Nejen příroda však stavěla před pracovníky překážky. Společnost se musela vyrovnat s následky dramatického ekonomického vývoje Islandu, který prodělal v průběhu realizace projektu největší bankovní a ekonomickou krizi v novodobých dějinách s dopadem na razantní devaluaci islandské měny. Navzdory uvedeným obtížím při výstavbě tohoto pilotního projektu byl v září 2010 úspěšně dokončen a předán do užívání státnímu investorovi Vegagerðin (obdoba našeho ŘSD).

Finsko 2010

Přes výše popsané obtíže, které se vyskytly při výstavbě prvního projektu v dosahu polárního kruhu, vedení společnosti Metrostav rozhodlo pokračovat v obchodní činnosti ve

with the introduction of the DRILL&BLAST method, which was new for them and which was applied to the excavation for Scandinavian tunnels, and with complex natural, geological and hydrogeological conditions. The position of the project manager was successively held by Ing. David Cyroň, Ing. Petr Živnůstka and Ing. Ermín Stehlík; the construction finals were secured by Ing. Aleš Richter.

As an example of the action of the harsh local climatic conditions, it is possible to mention the commencement of the construction work in the autumn of 2006, when a strong gust of wind took the just finished shed for the maintenance of

equipment several tens of metres away and completely demolished it. Strong, often gusty and icy wind accompanied Metrostav's tunnellers throughout the period of their work in Iceland. In winter months it was, in addition, necessary to cope with masses of snow, when not only main and access roads, but also tunnel portals themselves, were often covered with an up to several metres thick layer of snow.

A crucial test of the tunnellers was represented by complex hydrogeological conditions, when the excavation had to be repeatedly interrupted because of the necessity to cope with the severe ingress of pressurised groundwater to the area of the tunnel heading. Such conditions had never before been encountered in Iceland and were not assumed in the tender conditions. Taking into consideration the combination of the volume, pressure and very low temperature of groundwater, the conditions, which had been encountered till that time only by several projects in the world, were very complicated.

It was not only the nature that placed obstacles in the way of the workers. The company had to cope with the consequences of a dramatic economic development in Iceland, which underwent the largest banking and economic crises in the modern history with a drastic impact on the devaluation of Icelandic currency. Despite the above-mentioned difficulties during the implementation of this pilot project, the construction was successfully completed and handed over to the governmental state owner, Vegagerðin (an analogy to the Czech Directorate of Roads and Motorways) in September 2010.

Finland 2010

Despite the above-mentioned problems encountered during the implementation of the first project within the reach of the polar circle, Metrostav's management decided to continue with commercial activities in Scandinavia, thus to make a profit



Obr. 2 Tlaková podzemní voda v tunelu Ólafsfjörður
Fig. 2 Pressurised underground water in the Ólafsfjörður tunnel

Skandinávii a zúročit tak nelehce nabyté zkušenosti. Dalším cílem, na který byl zaměřen marketingový hledáček, se stalo Finsko, konkrétně prodloužení metra z Helsinek do Espoo. Opět především jak z důvodu překonání jazykové bariéry finštiny, tak z důvodů obsáhnutí znalostí místních poměrů a sdílení rizik bylo nutno nalézt místního partnera pro spolupráci. Místní firmy působící v oboru projevovaly zájem spíše o dodání razičů než o rovnocennou partnerskou spolupráci, a tak volba nakonec padla na společnost Destia, která v segmentu podzemních staveb dosud působila pouze omezeně.

Vzhledem k posunu původně předpokládaného termínu vypsaní soutěže Länsimetra – západního metra obě firmy absolvovaly nejprve ostré zahřívací kolo při účasti v soutěži na tunely železničního spojení na helsinské letiště – projekt Kehärata.

V roce 2010 se dostavil první obchodní úspěch v podobě získání zakázky na výstavbu přístupových tunelů Länsimetra. Trojice tunelů Koivusaari, Myllykallio a Lauttasaari o celkové délce 1249 m se nacházela na ostrově Lauttasaari v oblasti rezidenční a administrativní zástavby a současně v těsné

from the not easily gained experience. The next aim the marketing viewfinder was focused on was Finland, concretely the extension of metro from Helsinki to Espoo. It was again necessary for the reason of overcoming the language barrier of Finnish and comprehending local conditions and sharing of risks to find a local partner for collaboration. Local firms operating in the industrial branch were interested in hiring Metrostav's miners rather than equal partnership. For that reason the choice fell on Destia, a company which had operated in the segment of underground construction only to a limited extent.

With respect to a shift in the date of the invitation to tender for the Länsimetro West, the two companies underwent without preparation a warm-up round competition for tunnels on a rail link to Helsinki airport – the Kehärata project.

In 2010, the first commercial success came in the form of winning a contract for the construction of access tunnels for Länsimetro. Three tunnels, Koivusaari, Myllykallio and Lauttasaari, with the aggregate length of 1,249m, were located on Lauttasaari island, within a residential and administration development and, at the same time, in the close vicinity of the Finnish Bay. During the realisation itself, which commenced in September 2010, the tunnellers of Division 5 encountered complications significantly differing from the contract in Iceland. Driving tunnels in an urban area through hard rock, mostly granite, under a shallow overburden, in combination with demanding requirements of the project owner, was a hard nut to crack. In particular the alignment of the Lauttasaari access tunnel running under a hospital with the cover of only several metres caused wrinkles on the foreheads of the tunnelers. The tunnels were handed over to the project owner in December 2011.

Finland 2011

It was already on the turn of 2010 – 2011 that Metrostav, again in collaboration with the local company Destia, succeeded in the competition for the construction of a pair of Länsimetro running tunnels - the LU6E Karhusaari section – with the aggregate length of excavation of 2,613m. The excavation passed through similar geology as that in the case of the access tunnels, but with partial differences. The alignment of the track section ran in its eastern part in the immediate vicinity of the sea and, at the same time, under the sea groundwater table. Massive injecting of microcement grout



Obr. 3 Betonáž šachty v podzemní kaverně metra
Fig. 3 Casting a concrete shaft in the metro underground cavern



Obr. 4 Prorážka tunelu do stávajícího kolektoru – prořezáno lanem
Fig. 4 Tunnel breakthrough into the existing utility tunnel – cut through with a diamond wire saw

blízkosti moře Finského zálivu. Při vlastní realizaci, která byla zahájena v září 2010, se tuneláři Divize 5 v tomto případě setkali s komplikacemi výrazně odlišnými od zakázky na Islandu. Ražba tunelů v intravilánu v pevných horninách, převážně žulách, s nízkým nadloží byla v kombinaci s náročnými požadavky investora opravdovým oříškem. Zejména trasování přístupového tunelu Lauttasaari, vedeného pod nemocnicí s nadloží pouhých několika metrů, působilo tunelářům vrásky na čele. Tunely byly předány investorovi v prosinci 2011.

Finsko 2011

Již na přelomu roku 2010 a 2011 Metrostav opět ve spolupráci s místní společností Destia uspěl v soutěži na výstavbu dvojice tratových tunelů Länsimetro – úseku LU6E Karhusaari o celkové délce ražeb 2613 m. Ražba probíhala v obdobné geologii jako přístupové tunely, avšak s dílčími odlišnostmi. Trasa tratového úseku byla ve své východní části vedena v bezprostřední blízkosti moře a současně pod hladinou podzemní mořské vody. Docházelo zde k masivním předstihovým injektážím mikrocementovou suspenzí, které velmi významně ovlivňovaly postupové rychlosti. Lokální úkapy vody skrz definitivní ostění byly následně sanovány dodatečnými injektážemi s použitím polyuretanových pryskyřic. Objemy injektážních prací mnohonásobně předčily veškerá očekávání. Naopak ražby severozápadního úseku vedly pod základy budov společnosti Nokia, kde byly vzhledem k citlivému technologickému vybavení suterénních prostor komplexu kladeny mimořádně vysoké nároky na dodržování seismických limitů trhačích prací.

Součástí projektu byly také ražby trojice velkoprofilových jednolodních technologických kaveren o profilech až 383 m² (obr. 3) spolu s raženými větracími šachtami o hloubkách až 35 m. Stavba byla zdárně dokončena a předána v září 2013.

Finsko 2012

Úspěšná spolupráce s místním partnerem Destia vyústila v realizaci ražeb pod vznikajícím rezidenčním a obchodním centrem Kalasatama na rozvojové ploše Helsinek. Součástí developerského projektu byly dva tunely, každý sloužící jinému účelu. První, servisní tunel dlouhý 220 m, byl využit pro přeložku centrálního vytápění města Helsinek. Součástí projektu bylo napojení do technického tunelu dlouhého přes 20 km. Specifikem tohoto projektu bylo složité napojení nového tunelu do stávajícího technologického kolektoru. V místě prorážky byly na přilehlé stěně budoucího propojení vedeny dvě vysokotlaké roury ø 600 mm dálkového vytápění. Vzhledem k zimnímu období nebyla možná ani krátkodobá odstávka systému. Pro minimalizaci rizika poškození potrubí



Obr. 5 Příhradové nosníky BTX spolu s jehlami při průchodu vulkanosedimentárních vrstev

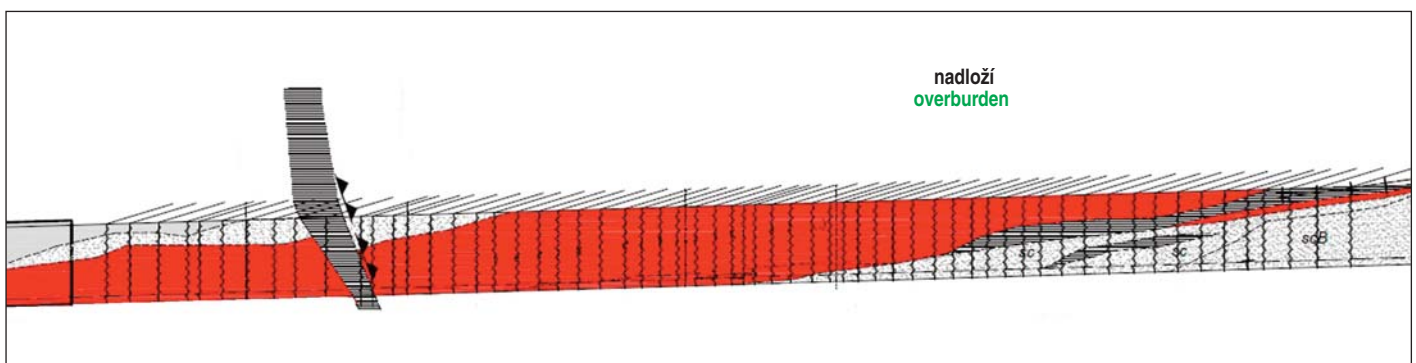
Fig. 5 BTX lattice girders together with forepoles during the passage through volcanosedimentary layers

ahead of the excavation face was occasionally carried out. This work significantly affected the advance rates. Local dripping of water through the final lining was subsequently removed by additional grouting using polyurethane resins. The volumes of the grouting operations many times exceeded all expectations. Conversely, the underground excavation in the north-western section led under the foundations of buildings owned by Nokia, where extraordinarily high requirements for adhering to seismic limits for blasting operations were placed with respect to the sensible technological equipment in the basement spaces of the complex.

Three large-profile single-vault technological caverns with the profiles of up to 383m², together with mined ventilation shafts up to 35m deep, were also parts of the project (see Fig. 3). The construction was successfully completed and handed over to the client in September 2013.

Finland 2012

The successful collaboration with the local firm, Destia, led to the realisation of the excavation under the Kalatasama residential and commercial centre, which was being developed in the Helsinki development area. Two tunnels serving to another purpose were parts of the development project. The first one, a 220m long service tunnel, was used for the diversion of central heating of the city of Helsinki. Part of the project was the connection into an over 20km long utility tunnel. A specific



Obr. 6 Podélný řez tunelem Nordfjordur s červeně vyznačenými vulkanosedimentárními vrstvami hornin

Fig. 6 Longitudinal section of Nordfjordur Tunnel with volcanosedimentary layers of rock

bylo posledních 2,5 m tunelu rozřezáno prořezávacím lanem na jednotlivé bloky (obr. 4), které byly poté vytaženy.

Druhý tunel délky 214 m plnil pouze dočasnou funkci a sloužil k vybudování pilířů přesouvaného železničního mostu metra. Po celé délce tunelu byly vyraženy šachty o hloubce 20 m, ve kterých dodavatel mostní konstrukce založil nové mostní pilíře. Veškeré práce probíhaly v těsném sousedství a za plného provozu metra. Oba tunely byly předány v červenci 2012.

Všechny výše uvedené stavby ve Finsku byly řízeny Ing. Václavem Pavlovským.

Island 2013

Po dokončení prvního projektu na Islandu se zde Metrostav aktivně účastnil také dalších vypisovaných soutěží, vzhledem ke sporům s firmou Háfell bylo rozhodnuto vybrat nového místního partnera, kterým se stala společnost Suðurverk. Úspěch se dostavil na jaře 2013 v soutěži na nejdelší islandský silniční tunel Nordfjörður délky 7560 m. Tento projekt navazoval na dokončení ražeb traťových tunelů Länsimetro v Helsinkách, řízením stavby byl pověřen vedoucí projektu Ing. Aleš Gothard, který se již účastnil předchozích projektů na Islandu a ve Finsku.

Tunel se razí z portálů Eskifjörður a Fannardalur převážně v bazaltech, ražba tunelu je komplikována četným výskytem nesoudržných tufových vrstev o mocnosti až 9 m (obr. 5). Orientace vrstev je takřka identická se sklonovými poměry tunelu a provází tak raziče pokaždé mnoho desítek metrů (obr. 6). Nejproblematictější je výskyt tufů v přístropí tunelu, kde dochází k nahodilým nadvýlomům. Četnost a zejména mocnost jednotlivých poruch dokonce vedla k zesilování ostění pomocí příhradových obloukových nosníků typu BRETEX. V době vydání článku zbývá do prorážky dokončit posledních pár stovek metrů ražeb.

Norsko 2014

Z důvodu dočasného poklesu vypisování velkých stavebních zakázek ve Finsku po dokončení Länsimetro byla v roce 2014 zaměřena obchodní aktivita Metrostavu na další severskou zemi s významným potenciálem realizace tunelů a podzemních staveb – Norsko. Přes informace týkající se značných potíží zahraničních firem usilujících o průnik na tento trh a při realizaci již vysoutěžených zakázek společnost přijala rozhodnutí ke vstupu na norský trh.



Obr. 7 Horninový blok ze skalního řícení
Fig. 7 A block from the rockslide

feature of this project lied in the complicated connection of the new tunnel to the existing utility tunnel. Two high-pressure district heating pipelines 600mm in diameter were found in the location of the future breakthrough, on the adjacent wall of the utility tunnel. Taking into consideration the winter season, no, even short-term, decommissioning was possible. With the objective to minimise the risk of damaging the pipeline, the last 25m long section of the tunnel was cut into individual blocks with a diamond wire saw (see Fig. 4). The blocks were subsequently hoisted to the surface.

The other, 214m long, tunnel fulfilled an only temporary function and served only to build piers of the metro railway bridge to be moved. Shafts 20m deep were sunk throughout the tunnel length. The contractor for the bridge structure founded new piers in the shafts. All working operations were carried out in the close vicinity of the fully operational metro. Both tunnels were handed over to the client in July 2012.

All of the above-mentioned structures in Finland were managed by Ing. Václav Pavlovský.

Iceland 2013

After completing the first contract in Iceland, Metrostav actively participated in other tenders called in Iceland. With respect to disputes with Háfell, the decision was made that a new local partner would be found. Suðurverk company became the partner. Success came in the spring of 2013, in the competition for the longest road tunnel in Iceland, the 7,560m long Nordfjörður tunnel. This project followed after the completion of the excavation of the Länsimetro running tunnels in Helsinki. The task to manage the construction was entrusted to Ing. Aleš Gothard, who had already participated in the previous projects in Iceland and Finland.

The tunnel is being driven from the Eskifjörður and Fannardalur portals, mostly through basalt. The tunnel excavation is complicated by numerous occurrences of incoherent up to 9m thick tuff layers (see Fig. 5). The orientation of layers is nearly identical with the tunnel inclination conditions. It therefore accompanies the miners for many tens of metres (see Fig. 6). The occurrence of tuffs in the top heading, causing random overbreaks, is the most problematic thing. The frequency and, in particular, the thickness of individual failures even led to the necessity of increasing the strength of the lining by means of BRETEX-type lattice girders. The last several hundreds of metres of the excavation remain to be completed at the moment of writing this paper.

Norway 2014

Because of a temporary drop in the numbers of public calls for bids issued in Finland after the completion of the Länsimetro project, the commercial activities of Metrostav in 2014 was focused on another Norse country with a significant potential for the realisation of tunnels – Norway. Despite information concerning significant difficulties encountered by foreign firms striving for penetrating this market, and the number of already awarded contracts, Metrostav adopted the decision to enter the Norwegian market.

The targeted commercial activity yielded results in the form of winning a contract for the construction of a diversion of road No. 337 near the town of Veitastrond on the western coast of Norway. Metrostav submitted the tender for this project, the part of which is even a 1,565m long twin-tube mined road tunnel, jointly with a local firm, Havnen Anlegg.

Tab. 1 Přehledná tabulka tunelových projektů
Table 1 Synoptic table of tunnel construction projects

Projekt Project	Účel Purpose	Realizace Realisation	Délka [m] Length [m]	Objem ražeb [m³] Excavated volume [m³]	Běžný profil [m²] Common cross-sectional area [m²]	Max. profil [m²] Maximum cross-sectional area [m²]
Héðinsfjörðargöng, Island – tunel Ólafsfjörður Héðinsfjörðargöng, Iceland – Ólafsfjörður tunnel	silniční road	05/2006 – 09/2010 05/2006 – 09/2010	6 925 6,925	380 000 380,000	52,8 52.8	75,3 75.3
Héðinsfjörðargöng, Island – tunel Siglufjörður Héðinsfjörðargöng, Iceland – Siglufjörður tunnel	silniční road	05/2006 – 09/2010 05/2006 – 09/2010	3 650 3,650	200 000 200,000	52,8 52.8	75,3 75.3
Přístupové tunely metra Finsko – Myllykallio Access tunnels for metro in Finland – Myllykallio tunnel	metro metro	05/2010 – 12/2011 05/2010 – 12/2011	238 238	11 000 11,000	33,7 33.7	46,2 46.2
Přístupové tunely metra Finsko – Koivusaari Access tunnels for metro in Finland – Koivusaari tunnel	metro metro	05/2010 – 12/2011 05/2010 – 12/2011	560 560	23 000 23,000	31,5 31.5	58,0 58.0
Přístupové tunely metra Finsko – Lauttasaari Access tunnels for metro in Finland – Lauttasaari tunnel	metro metro	05/2010 – 12/2011 05/2010 – 12/2011	406 406	46 000 46,000	31,0 31.0	54,0 54.0
Trafové tunely metra Finsko – Karhusaari Metro running tunnels in Finland – Karhusaari tunnels	metro metro	05/2011 – 09/2013 05/2011 – 09/2013	2 613 2,613	140 000 140,000	36,2–42,1 36.2–42.1	383,0 383.0
Kalasatama , Finsko tunely č. 1 a 2 Kalasatama , Finland, tunnels No. 1 and 2	technologický technology	02/2012 – 07/2012 02/2012 – 07/2012	434 434	18 400 18,400	31,6 31.6	46,6 46.6
Norðfjarðargöng , Island Norðfjarðargöng , Iceland	silniční road	08/2013 – doposud 08/2013 – till now	7 908 7,908	434 000 434,000	54,7 54.7	77,3 77.3
Veitastrond , Norsko Veitastrond , Norway	silniční road	05/2014 – doposud 05/2014 – till now	1 565 1,565	108 000 108,000	42,5 42.5	66,1 66.1

Cílená obchodní činnost přinesla výsledky získáním zakázky na realizaci přeložky silnice č. 337 u města Veitastrond na západním pobřeží Norska. Nabídku na tento projekt, jehož součástí je také dvoupruhový ražený silniční tunel v délce 1565 m, podal Metrostav opět společně s místní firmou Havnen Anlegg.

Mezi specifika této stavby patří mj. přerušení prací po dobu zimní odstávky silnice z důvodu lavinového nebezpečí v době od 1. prosince do 31. května. O reálnosti této hrozby se měli raziči možnost přesvědčit ještě před zahájením zimní přestávky, kdy došlo k sesuvu v bezprostřední blízkosti jižního portálu. Událost se naštěstí obešla bez jakýchkoliv obětí. Kromě sněžných lavin došlo i k uvolnění kamenného

Among specific features of this project, there is, among other things, the suspension of work during the winter shut-down because of the risk of avalanches existing from the 1st December to the 31st May. The tunnellers had the opportunity to convince themselves of the substantiality of this threat even before the beginning of the winter break, when an avalanche slipped in the intermediate vicinity of the southern portal. Fortunately, the event got along without sacrifices. Apart from snow avalanches, even a stone field slipped on the access road (see Fig. 7). The team managed by Ing. Bürgel will return to Norway after the winter break is over, to complete the structure during 2015. A separate paper will be dedicated to this project in one of the future issues of the journal.

pole na příjezdovou silnici (obr. 7). Po skončení zimní odstávky se projektový tým Ing. Bürgela do Norska vrátí a letos stavbu dokončí. Projektu bude věnován samostatný článek v některém z příštích čísel časopisu.

SPECIFIKA METODY DRILL&BLAST V PRAXI

Ražby všech výše popisovaných projektů byly realizovány metodou DRILL&BLAST, která využívá v maximální míře samonosnosti horninového masivu. Své uplatnění nachází především ve velmi pevných horninách severských zemí a je u naší odborné veřejnosti dnes již velmi dobře známá. Vyznačuje se mj. značnou délkou jednotlivých záběrů přesahující ve vhodných podmínkách 5 m s použitím trhacích prací. Ostění je tvořeno kombinací typově různé svorníkové výztuže a stříkaných betonů. V hojné míře je aplikována metoda předstihových systémových injektáží.

Vzhledem ke skutečnosti, že převážná většina prvků této metody je společná či podobná s NRTM, nepředstavovalo pro raziče a techniky její osvojení zásadní obtíže. Nicméně bylo možné se opakovaně přesvědčit, že určité odlišnosti jsou výrazné a v kombinaci se specifickými podmínkami konkrétního projektu mohou představovat složitý problém. V některých případech bylo nutno vynaložit při zdolávání těchto překážek značné úsilí a někdy bylo nutno nabídnout atypické řešení, které bylo neobvyklé jak pro projektanta, tak investora stavby.

Je zajímavé sledovat, jak se využívání prakticky stejné metody a přístupy investora, projektantů a technického dozoru u specifických operací v jednotlivých regionech vzájemně odlišují. Technologickým lídrem je bezesporu Norsko, které díky geografickému reliéfu a ekonomické soběstačnosti realizuje každý rok desítky nových podzemních staveb. V Norsku jsou utvářeny standardy, které jsou s kratšími či delšími časovými rozestupy postupně přejímány do ostatních severských zemí. Na Islandu jsou standardy velmi ochotně přebírány, kdežto Finsko postupuje svojí vlastní cestou.

Dobрым příkladem je rozdílný přístup k výstavbě, ve finále „stejněho“ ostění v Norsku a ve Finsku. Zatímco v Norsku lze otevřít maximálně tři záběry bez nástřiku betonu na strop a přístropí tunelů z důvodu bezpečnosti práce, ve Finsku se nelze přiblížit s betony ostění blíže než 40 m od čelby. Prezentovaným důvodem je namáhání ostění účinky trhacích prací. Stropy tunelů v blízkosti čelby jsou tak opakovaně strojně a zejména ručně obtrhávány. V případě zastižení značně porušené horniny lze samozřejmě aplikovat bezpečnostní nástřik drátkobetonu, nicméně musí dojít k souhlasu technického dozoru investora a projektanta pro každý záběr. Obdobný je i přístup ke svorníkové výztuži. Norské a potažmo i islandské tunely jsou svorníkovány nahodile se zohledněním aktuální geotechnické situace, ve Finsku jsou svorníky definitivního ostění osazovány striktně systematicky do vyprojektovaného rastru zohledňujícího různé třídy horniny.

Takovýto rozdíly je mnoho a každý projekt má svá ojedinelá specifika i v rámci jednoho regionu. Otevřenost investora a projektanta na Islandu k technickým inovacím se výrazně odlišuje od finského konzervativního přístupu, kdy je nutné nejprve ukázat, že tudy „cesta nevede“.

POZNATKY ZE STAVEBNICTVÍ NA SEVERU

Severské země obecně jsou ekonomicky velmi vyspělé s velkým důrazem na sociální ochranu jednotlivce. Mají

DRILL&BLAST METHOD SPECIFIC FEATURES IN PRACTICE

All of the above-mentioned tunnels were driven using the DRILL&BLAST method, which uses to a maximum extent the self-supporting capacity of rock mass. It finds its application first and foremost in very hard rock types existing in Norse countries; it is today very well known to our professional public. It is characterised, among other things, by the significant length of individual excavation rounds, exceeding 5m in favourable conditions, excavated by means of blasting. The lining is formed by a combination of various types of rock bolt support and sprayed concrete. The method of systematic grouting around the completed excavation (pre-grouting) has been abundantly applied.

With respect to the fact that the majority of the elements of this method are common or similar to the NATM, adopting this method posed no fundamental problem for Metrostav's miners and technicians. Nevertheless, they had the opportunity to repeatedly convince themselves that certain differences are significant and, in combination with specific conditions of a particular project, can represent a complicated problem. It was necessary in some cases to make huge efforts when these obstacles were being overcome and an atypical solution, which was unusual for both the designer and the project owner, had to be offered.

It is interesting to watch how the application of practically identical methods and the attitudes of designers and technical supervisors differ in specific operations from each other in individual regions. Norway is undoubtedly the technological leader. Owing to the geographic relief, it realises tens of new underground structures every year. The standards which are established in Norway are sooner or later gradually taken over in other Norse countries. The standards are willingly taken over in Iceland, whilst Finland proceeds in its own way.

The different attitude to the construction of a lining which is in the end "identical" in Norway and Finland is a good example. Whilst it is possible to excavate three rounds without the application of shotcrete to the crown and top heading of tunnels as a maximum, for the reasons of the working safety, it is not allowed to install a concrete lining closer to the excavation face than 40m in Finland. The presented reason lies in the stress the lining is subjected to during blasting operations. Loose blocks of rock in the crown are repeatedly removed to a certain distance from the headings mechanically and, in particular, by hand. Nevertheless, the approval of client's technical supervision and the designer has to be granted for each excavation round. The approach to the rockbolt support is similar. Norwegian and, as a matter of fact, Icelandic tunnels are provided with rock bolt support randomly, taking into consideration the current geotechnical situation. In Finland, rock bolts supporting the final lining are installed strictly systematically, to a grid designed taking into consideration various excavation classes.

There are many differences there and each design has its isolated specifics even within the framework of a single region. Project owner's openness to technical innovations in Iceland substantially differs from the Finnish conservative approach, where it is first necessary to prove that "this way is not the way".

KNOWLEDGE FROM THE CONSTRUCTION INDUSTRY IN THE NORTH

Norse countries are highly developed in terms of economy, emphasising the protection of an individual. They have

propracované metodiky zaměstnávání, poměrně složité daňové systémy a silné odborové organizace. V případě dodávky stavby musí generální zhotovitel nad rámec samotné stavby umět pracovat nejen se všemi zákony a předpisy, ale hlavně také s místními zvyklostmi. Pojmy jako plánování, přesnost, otevřenost při jednání nejsou pouhými frázemi. Velmi důležitá je flexibilita a umění dodržet ujednané. Obecně je třeba vyzdvihnout striktní, ale korektní přístup investorů a jejich zástupců.

Jazyková vyspělost severanů je velmi vysoká, s angličtinou se lze obejít prakticky kdekoli, přesto veškerá oficiální komunikace probíhá v národních jazycích. Technické normy a předpisy jsou většinou národní, publikované samozřejmě pouze v příslušném a cizincům obtížně čitelném jazyce. Svá úskalí má také uznávání certifikátů z jiných akreditovaných laboratoří a zkušebních ústavů než národních. Osobní a profesní kvalifikace jsou v drtivé většině nepřenositelné. Všechny tyto a mnoho dalších skutečností vyžadují spolupráci na projektech se spolehlivými místními partnery a konzultantskými společnostmi.

Zajímavou novinkou bylo seznámení se se systémem hodnocení kvality, BOZP, ochrany životního prostředí a jeho smluvním uplatňováním. Propracovaná klasifikace umožňovala zadavateli ukládat sankce, ale na druhou stranu i odměňovat za dobré výsledky. Tento princip je často uplatňován již při výběrovém řízení na dodavatele, kdy součástí hodnocení nabídky je velká váha kladena na kvalitu předložené dokumentace spolu s profesní historií uchazeče.

ZÁVĚR

Začátky severské mise Metrostavu byly velmi obtížné, kdy se pracovníci setkávali s novými přístupy k tunelářskému řemeslu, ale hlavně se učili pracovat v drsném a vzdáleném prostředí. Na zmiňovaných projektech se podařilo úspěšně se adaptovat na místní podmínky a zvyklosti a vybudovat si tak postupně u investora pozici respektovaného dodavatele. Tuto zpětnou vazbu Metrostav obdržel ze strany zástupců investora při opakovaných realizacích jak ve Finsku, tak na Islandu.

Podařilo se tak udržet kontinuitu podnikání, a tím i vychovat specialisty na severské metody ražeb. Přesto je však nutné ke každému novému projektu přistupovat s pokorou. Společnost se opakovaně přesvědčila, že každé nové dílo přináší něco nového a je potřeba problémy na místě umět vyřešit. Příkladem budiž ražba pod mořem ve Finsku nebo aktuální „souboj“ s islandskou sopečnou geologií. Vzhledem k současné situaci a ne/připravenosti projektů v České republice lze spatřit v zahraničí a zejména na severu Evropy velký potenciál podzemních staveb. Realizace obtížných zahraničních projektů tak pomáhá zvyšovat kvalifikovanost techniků a dělníků Metrostavu a tím i konkurenceschopnost společnosti v zahraničí.

*Ing. JIŘÍ MOSLER, jiri.mosler@metrostav.cz,
Ing. VÁCLAV PAVLOVSKÝ,
vaclav.pavlovsky@metrostav.cz,
METROSTAV a.s.*

*Recenzovali: prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.,
Ing. Pavel Růžička*

sophisticated methodologies of employment, relatively complicated taxation systems and strong trade unions. In the case of a contract for a construction, the general contractor has to be able to work apart the construction itself not only with all laws and regulations, but first and foremost, with local customs. Such terms as planning, precision or openness during negotiations are not mere phrases. Flexibility and the art of meeting agreed things are very important. In general, it is necessary to emphasise the strict and correct approach of project owners and their representatives.

The knowledge of languages in Norse countries is very high. One can do away with English virtually anywhere. Despite this fact, all official communications are held in the national languages. Technical standards and regulations are mostly issued by individual states, and of course published, in the respective languages, which are difficult for Czech people to read. Recognizing certificates issued by other accredited laboratories and testing institutes than national ones has also its pitfalls. Personal and professional qualifications are overwhelmingly non-transferable. All of these and many other facts require collaboration on projects with reliable local partners and consultancy firms.

The familiarisation with the quality assessment, health and safety at work and environmental protection systems and their application to contracts was an interesting novelty for Metrostav managers. The sophisticated classification system allowed the client to impose sanctions, but on the other hand, also to give rewards for good results. This principle is often applied as early as the tendering process, where much weight is put on the quality of the submitted documentation together with the professional history of the tenderer.

CONCLUSION

The beginnings of Metrostav's Norse mission were very difficult. Workers met new approaches to the tunnelling trade and, mainly, learned to work in the harsh and remote environment. On the above-mentioned projects, they successfully managed to get adapted to local conditions and customs and establish themselves as a respected contractor for project owners. Metrostav gained this feedback from representatives of clients during repeated realisations both in Finland and Iceland.

In this way the continuity of enterprising was successfully maintained and specialists in the Norse tunnelling method were educated. Despite this fact, it is necessary to approach each new project with humility. The company repeatedly convinced itself that each new project brings something new and problems must be solved on the spot. Let us mention the tunnel excavation under the sea in Finland or the current "duel" with Icelandic volcanic geology as an example. With respect to the current situation and the non/preparedness of projects in the Czech Republic, we can see a great potential of underground construction projects abroad, first of all in the north of Europe. In this way, the realisation of complicated foreign projects helps to improve the qualification of Metrostav's technicians and workers, thus even the competitiveness of the company abroad.

*Ing. JIŘÍ MOSLER, jiri.mosler@metrostav.cz,
Ing. VÁCLAV PAVLOVSKÝ,
vaclav.pavlovsky@metrostav.cz,
METROSTAV a.s.*

UVEDENÍ NOVÉHO ÚSEKU METRA V.A DO PROVOZU **PŘEHLED STANIC A TRAŤOVÝCH ÚSEKŮ,** **SOUHRN ZMĚN BĚHEM VÝSTAVBY** **INAUGURATION OF THE NEW METRO SECTION V.A** **OVERVIEW OF STATIONS AND TRACK SECTIONS,** **SUMMARY OF CHANGES DURING CONSTRUCTION**

ANNA SVOBODOVÁ, JIŘÍ JUNEK, MIROSLAV FILIP

ABSTRAKT

Pátý úsek prodloužení trasy A metra v Praze je úsekem ze stávající stanice Dejvická do stanice Nemocnice Motol, který měří 6134 m a má celkem čtyři nové bezbariérové stanice – Bořislavka, Nádraží Veveslavín, Petřiny a Nemocnice Motol. Projekt významně zkvalitní dopravní obsluhu území severozápadního segmentu hlavního města Prahy a sníží negativní dopady na zdejší životní prostředí. Klíčovými přínosy budou redukce autobusové dopravy na Vítězném náměstí a v jeho okolí a zlepšení dopravní dostupnosti motolské nemocnice. První práce na stavbě metra V.A byly zahájeny v dubnu 2010 a stavba byla uvedena do provozu 6. 4. 2015. Všechny podzemní stanice metra, až na Nemocnici Motol, která je hloubená, zasazená do svahu nad vstupem do FN Motol, byly vyraženy Novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM). Traťový tunel z Vypichu do stanice Nemocnice Motol je dvoukolejný a ražený též metodou NRTM. Ostatní tunely v délce 4177 m jsou jednokolejné ražené dvěma plnoprofilovými zeminovými štíty – technologií EPBS (Earth Pressure Balance Shield), která je pro dané podmínky oproti NRTM šetrnější, bezpečnější a také rychlejší. Měsíční ražba dosáhla až 625,5 m i ve složitých horninových poměrech. Výstavbu metra v Praze měla již potřetí příležitost řídit Divize 8 Metrostavu.

ABSTRACT

The fifth operating section of the metro line A in Prague, the so called Metro V.A, is the section leading from Dejvická station to Nemocnice Motol station. It is 6,134m long and contains four new barrier-free stations - Bořislavka, Nádraží Veveslavín, Petřiny and Nemocnice Motol. The project will significantly improve the transport accessibility in the area of the western segment of the capital city of Prague and will reduce the negative impacts on the living environment in this region. The key benefits will lie in the reduction of bus traffic in Vítězný Náměstí circle and its surroundings and the improvement of the transport accessibility of Motol Hospital. The first metro V.A construction operations commenced in April 2010 and the construction was brought into service on the 6th April 2015. All of the underground stations, with the exception of Nemocnice Motol station, which is of the cut-and-cover type and is embedded in the slope above the entrance to the Motol University Hospital, were driven using the New Austrian Tunneling Method (NATM). The running tunnel from Vypich to Nemocnice Motol station is a double-track structure, which was also driven using the NATM. The other tunnels, at the total length of 4177m, are single-track structures driven by a pair of EPB (Earth Pressure Balance) TBM machines. In comparison with the NATM, this technique is more considerate towards environment, safer and quicker for the given conditions. The monthly excavation advance rates reached up to 625.5m even in the complicated geological conditions. Division 8 of Metrostav a. s. had the opportunity to manage the development of metro in Prague already for the third time.

V následujících kapitolách je shrnuta pětiletá doba výstavby jednotlivých stanic, traťových tunelů, liniových objektů a dalších stavebních objektů. Důležitá je nejen stavební část, ale i technologická, jejíž koordinací se divize 8 Metrostavu zabývala poslední 1,5 rok výstavby.

STANICE BOŘISLAVKA

Jedná se o jednoduchou raženou stanici (obr. 1) s hloubkou nástupiště pod terénem 27,1 m a délkou 193 m. Staniční tunel navázal na úpadní 223 m dlouhou přístupovou štolu František raženou z portálu v ul. Kladenská a byl členěn na tři dílčí výruby (dva boční a jeden středový), které byly dále členěny na kalotu, opěří a dno. Ražba probíhala metodou NRTM s délkou záběru 1 m.

Výstavba stanice Bořislavka

Z důvodu zhoršených geotechnických parametrů horninového masivu v oblasti stanice a možnosti výskytu poklesů, které by se mohly projevit na povrchových objektech, byla přijata opatření – změny některých prvků zajišťování výrubu stanice a změna členění výrubu stanice z horizontálního na vertikální po celé

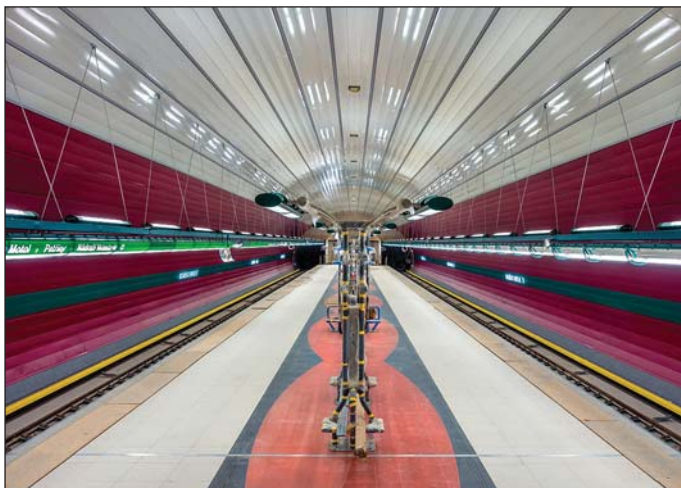
The following chapters present a summary of the five-year period of the construction of individual stations, running tunnels, linear structures and other building structures. Not only the civil engineering part is important. Even the technological part, which the Division 8 of Metrostav a. s. dealt with during the last 1.5 years of the construction, is important.

BOŘISLAVKA STATION

It is a single-vault mined station (see Fig. 1) with the 193m long platform located at the depth of 27.1m under the terrain surface. The station tunnel was connected to 223m long František access tunnel, which was driven downhill from the portal in Kladenská Street. The excavation was divided into three sequences (two sidewall drifts and one central tunnel), which were further sub-divided into top headings, benches and bottoms. The excavation was carried out using the NATM, with the advance per round of 1m.

Bořislavka station construction

The following measures were adopted because of worsened geotechnical parameters of the ground mass in the area of the



Foto/Photo Ing. Jiří Junek, CSc.

Obr. 1 Nástupiště stanice Bořislavka
Fig. 1 Bořislavka station platform

délce stanice s výjimkou ražby rozrážky; zesílení ostění ze stříkaného betonu ze 400 mm na 500 mm vč. zhuštěného vstrojování tunelu kotvami, příhradovými rámy, sítěmi, příložkami atd. Pro minimalizaci poklesů povrchu terénu a jejich vlivu na stavební objekty v ul. Kamerunská byla realizována před zahájením ražby vlastní stanice pilotová stěna (clona) z 10 ks pilot o průměru 900 mm a hloubce 40 m vč. zlepšení parametrů horniny injektážemi v oblasti patek této stěny. V rámci geomonitringu došlo k doplnění a zvýšení četnosti měření a sledování deformací v tunelu i na povrchu.

Z důvodu snížení vlivu výstavby na okolní zástavbu byla zakryta vstupní a manipulační část staveniště CV3 v ul. Kladenská rozsáhlou protihlukovou halou a byla vyměněna okna v dotčených objektech v rámci protihlukových úprav.

Před samotnou ražbou stanice byla pod panelovým domem č. p. 599 v ulici Kamerunská, který se nacházel v zóně možného deformačního ovlivnění, realizována horizontální mikropilotová clona z profilu rozfárání stanice pomocí mikropilot R 108/16 mm v počtu 16 ks délky 12 m.

Rozfárání stanice na rozdíl od stanice Petřiny bylo v samotné stanici. V první části rozfárání v délce 13 m došlo k horizontálnímu rozšíření výrubu, v druhé části v délce 21 m k vertikálnímu členění výrubu (obr. 2).

Z důvodu eliminace zpoždění ražeb stanice Bořislavka způsobené nepříznivou geologií bylo přijato dodatečné technické opatření, které umožnilo souběžné práce na doražbě středního staničního výrubu a ražbu tratěvých tunelů pomocí štítu ze stanice Bořislavka do stanice Dejvická. Byly použity ochranné ocelové stěny délky 8 m z obou stran středního výrubu. Během ražby stanice bylo vyvezeno 45 000 m³ rubaniny.

Pro zásobování ražby štítu a pro zahájení betonáže spodní klenby stanice bylo nutné vybudovat ve stanici provizorní násypy a zpevněné plochy, po kterých se odkláněla doprava. Současně se zásobováním těžkými prefabrikáty levým tratěvým tunelem byla pravým tunelem realizována betonáž spodní klenby stanice z důvodu dodržení konečného termínu výstavby.

První dilatační díl stanice má profil zvýšený o 700 mm pro zabudování tří- až čtyřpatrového objektu výšky 12 m a délky téměř 70 m, který sloužil jako technologické zázemí stanice.

Bednění vrchní klenby o hmotnosti 150 tun bylo z posuvné formy stavebnicového typu. Z důvodu stísněných podmínek v prostoru stanice ji bylo nutné poskládat v opačném pořadí, od vrchních dílů (zavěšených pomocí čtyř 17metrových táhel v prostoru výtahové šachty) postupně až k dílům spodní části formy.

Pro izolaci stanice byla zvolena kombinace stříkané izolace na čelních stěnách stanice a izolace fóliové, která se ve dně realizovala po sektorech ve dvou vrstvách tak, aby ji bylo možné



Foto/Photo Ing. Jiří Junek, CSc.

Obr. 2 Rozfárání stanice Bořislavka
Fig. 2 Bifurcation for the excavation of Bořislavka station

station and the possibility of the occurrence of subsidence which could manifest itself on existing surface buildings: changing some elements of the station excavation support and changing the station excavation sequence from the so-called horizontal sequence to the so-called vertical sequence throughout the station length, with the exception of the excavation for the bifurcation of the access tunnel; increasing the thickness of the shotcrete lining from 400mm to 500mm, reducing the spacing between anchors and lattice girders and adding welded mesh mats and strap pieces, etc. A pile wall (a curtain) consisting of 10 piles 900mm in diameter and 40m deep was realised before the commencement of the station excavation with the aim of minimising the subsidence of the terrain surface and its influence on building structures in Kamerunská Street, inclusive of the improvement of ground parameters in the area of the pile toes by grouting. The number and frequency of measurements and observations of deformations, both inside the tunnel and on the surface, was increased within the framework of the geomonitring.

The entrance and handling part of the CV3 construction site in Kladenská Street was covered by an extensive noise attenuation shed and the windows of the affected buildings were replaced within the noise control measures.

A horizontal micropile curtain consisting of 16 micropiles R 108/16 21m long was carried out before the commencement of the station excavation itself at the beginning of the station excavation, under panel building No. 599 in Kamerunská Street, which was located inside the zone of the potential deformation effects.

The access tunnel bifurcation leading to the station excavation was, in contrast with Petřiny station, located in the station itself. In the initial 13m long part of the bifurcation, the excavation width was horizontally enlarged; in the 21m long second part, the vertical excavation sequence was applied (see Fig. 2).

An additional technical measure allowing the concurrent work on the completion of the excavation of the central station tunnel and driving running tunnels by means of the TBM shields from Bořislavka station to Dejvická station was adopted with the aim of eliminating the delay in the excavation of Bořislavka station caused by unfavourable geology. Protective steel walls 8m long were used on both sides of the central station tunnel excavation. The volume of muck transported from the station amounted to 45,000m³.

kontrolovat. V období od října 2013 do půlky března 2014 byla realizována izolace a definitivní ostění ve vzduchotechnické části přístupové štolý František, která sloužila v době výstavby jako zásobovací cesta do stanice. Na štolu navazuje svislá větrací šachta, kterou bude proudit přes ventilátory osazené ve štole vzduch pro větrání celé stanice. Ve štole byla zřízena jeřábová drážka pro manipulaci a osazení ventilátorů. Následně byla zbylá část přístupové štolý v délce 100 m zaplněna popílkobetonem.

Pro betonáž definitivního ostění větrací šachty byla zvolena technologie kontinuální betonáže. Byl použit speciální beton o pevnosti C 30/37 dosahující penetračního odporu 6 MPa potřebného pro odbednění po 6 hodinách. Betonáž byla nastavena na záběry délky 20 cm každou hodinu. Celková výška betonovaného úseku byla 22,06 m. I přes nepřízeň počasí byla celá šachta zabetonována za 109 hodin. Pro tuto metodu bylo nezbytné izolovat a armovat celou šachtu v plné výši před betonáží. Při porovnání metod klasické a kontinuální betonáže se lze jednoznačně u šachet hlubších než 15 m přiklonit ke kontinuální betonáži. Největší výhodou této varianty je vyloučení spár a zamezení vniknutí vody do konstrukce. Dochází tak ke vzniku „vodonepropustného“ tělesa. Provádění prací je o 25 % rychlejší než u klasické metody. Dále je kontinuální betonáž bezpečnější metoda, protože na rozdíl od klasické metody nevznikají rizikové činnosti při posunu a zakotvení formy.

Architektura stanice Bořislavka

Tato ražená jednolodní stanice s výstupy oběma směry je umístěna pod Evropskou ulicí. Dva podchody pod Evropskou ulicí byly budovány ve dvou etapách tak, aby nebyla přerušena automobilová ani tramvajová doprava. Výstupy v úrovni Evropské jsou navrženy bez přístřešků, pouze s ocelovým portálem, signalizujícím vstup do stanice. Kiosky výtahů jsou prosklené. V podchodech je situována obchodní vybavenost. Budoucí podchod pod Liberijskou ulicí pod jihozápadním sektorem křižovatky, odkud je uvažován přístup do plánovaného obchodně-administrativního centra Bořislavka, bude přímo propojen s podchodem k vestibulu metra zvýrazněným proskleným světlíkem.

Výrazně podélný charakter stanice je podpořen podélným členěním obkladu nástupiště, dále sdruženými nosníky u hran nástupiště, svítidly na stojanech ve středu nástupiště a oživujícím červeným pletencem v dlažbě nástupiště. Charakteristickou barvou je pro tuto stanici červená a červenohnědá (motivovaná názvem blízkého sídliště Červený Vrch a těžbou krevelové rudy v minulosti) v kombinaci

It was necessary for supplying materials for the TBMs and for the commencement of casting the concrete station invert to develop temporary embankments and hard surfaced areas in the station for diverting the traffic. The casting of the concrete invert of the station was carried out through the right-hand running tunnel, simultaneously with supplying heavy pre-cast elements through the left-hand running tunnel, so that the final construction deadline was met.

The height of the profile of the first expansion block of the station is increased by 700mm for the purpose of the incorporation of a three- to four-storey structure 12m high and nearly 70m long, designed to serve as a technical hinterland of the station.

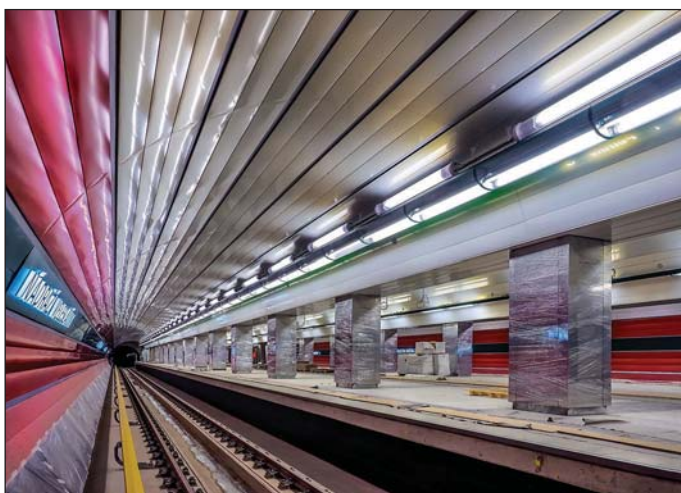
The 150 tonne formwork for casting of the upper vault was designed as a modular travelling set. Because of the constrained conditions in the station space, it was necessary to assemble it in the reverse order, starting from the upper components (suspended by means of four 17 metres long ties in the space of the lift shaft) successively down to the components of the lower part of the form.

A combination of sprayed-on waterproofing applied to the front walls of the station and a plastic waterproofing membrane, which was installed in two layers divided into the sectors so that checking on it was possible, was chosen for the waterproofing system. The waterproofing and final lining in the ventilation part of František access tunnel, which served during the construction as a supply route to the station, were realised from October 2013 to the half of March 2014. A vertical shaft which air for the ventilation of the entire station will flow through, via fans installed in the access tunnel, is connected to the tunnel. A crane track for handling and assembling the fans was installed in the tunnel. The remaining 100m long part of the access tunnel was subsequently backfilled with cinder concrete.

Continuous casting of concrete was chosen for the construction of the final lining of the ventilation shaft. Special C30/37-grade concrete reaching the penetration resistance of 6MPa, which was required for stripping of the formwork after 6 hours, was used. The casting rate was set for 20cm high lifts every hour. The total height of the concrete casting section was 22.06m. Even despite the adverse weather, the casting of concrete of the entire shaft was finished in 109 hours. It was necessary for this method to install the concrete reinforcement of the entire shaft prior to casting the concrete. If we compare classical and continuous concrete casting methods, it is possible to unambiguously prefer continuous casting in the cases of shafts deeper than 15m. The greatest advantage of this variant lies in the exclusion of joints and prevention of the penetration of water into the structure. A body "impervious for water" originates in this way. The execution of the work is by 25% quicker than in the case of the classical method. In addition, the continuous casting method is safer because, in contrast with the classical method, the dangerous operations when the formwork is being shifted and anchored are not necessary.

Bořislavka station architecture

This mined single-vault station with exits in both directions is located under Evropská Street. Two pedestrian subways under Evropská Street were constructed in two stages so that the automobile and tram traffic was not interrupted. No canopies were designed for the exits at the level of Evropská Street. There are only steel portals signalling the entrances to the station. The lift kiosks are glazed. Shopping amenities are located in the pedestrian subways. The future pedestrian subway under Liberijská Street under the south-western sector of



Obr. 3 Nástupiště stanice Nádrazí Veleslavín
Fig. 3 Nádrazí Veleslavín station platform

Foto/Photo Ing. Jiří Junek, CSc.



Foto/Photo Ing. Jiří Junek, CSc.

Obr. 4 Stavební jáma s portálem pro zahájení ražby stanice Nádraží Veleslavín

Fig. 4 Construction pit with the portal for the commencement of the excavation for Nádraží Veleslavín station

s opálově zelenou barvou trasy A. Vrch klenby je stejně jako v ostatních stanicích v odstínu „dual tone“ – podle úhlu pohledu se barva mění od bělavé do champagne.

STANICE NÁDRAŽÍ VELESLAVÍN

Stanice Nádraží Veleslavín (obr. 3) je první trojlodní stanicí pražského metra raženou metodou NRTM z portálu v hloubené části stanice (obr. 4). Nástupiště se nachází v hloubce 19,4 m pod terénem. Konstruktivní uspořádání umožnilo členěný postup výstavby i v méně příznivých geologických podmínkách a při malé výšce nadloží.

Výstavba stanice Nádraží Veleslavín

Před zahájením prací na stavební jámě, ze které byla následně ražena stanice Nádraží Veleslavín, muselo dojít k přeložení stávající kanalizace DN400 o délce 125 m a DN1000 o délce 135 m. Ražba přeložek posloužila k inženýrskogeologickému průzkumu pro stanici. Dále musel být přeložen hradní vodovod postavený v letech 1550–1573, který zásobuje kašny a zahrady Pražského hradu užitkovou vodou a je napájen z Libockého rybníka.

Projekt ražené trojlodní stanice Nádraží Veleslavín doznal několika zásadních změn. Původně zamýšlená fóliová hydroizolace byla z důvodu složitosti a funkčnosti detailů napojení bočních výrubů na střední výrub nahrazena systémem stříkané hydroizolace. Dále došlo k přesunutí technologického zázemí do prostoru sjízdné rampy v hloubené části stanice. Projekt původně počítal s umístěním technologického zázemí do samostatného středního tunelu navazujícího na východní část nástupiště. Zásadním důvodem vedoucím k realizaci nového řešení bylo splnění termínu stavební připravenosti pro měnění a distribuční trafo (MDT) podle aktualizovaného řídicího harmonogramu k 1. 8. 2013.

Po rozhodnutí o přemístění technologického centra z ražené části stanice do prostoru rampy byly prováděny od poloviny září 2012 předstihové práce nutné k zajištění jámy technologického centra. Jednalo se zejména o přikotvení severní stěny hlavní jámy, které probíhalo komplikovanou technologií vrtání přes volnou hloubku 8 m široké sjízdné rampy.

Velkou výzvou při organizaci a provádění prací bylo postupné zahlabování budoucího technologického centra do sjízdné rampy v době jejího užívání pro provoz ražeb stanice a vzduchotechnických propojek. Průjezdnost rampou byla ukončena po Dni otevřených dveří dne 20. 1. 2013.

the intersection, from which the access to the future Bořislavka commercial-administration centre is planned, will be directly interconnected with the pedestrian subway leading to the metro concourse.

The distinctly longitudinal character of the station is boosted by the longitudinal division of the platform wall cladding, multi-purpose bearing beams along the platform edges, luminaries installed on posts along the platform centre line and a brightening red cluster in the platform pavement. The colour characteristic for this station is red and reddish-brown (it is motivated by the name of the nearby residential area Červený Vrch (the Red Hill) and by the extraction of hematite ore in the past) combined with opal green colour of the Line A. The crown of the vault is in the “dual tone” shade, identically with the other stations – the colour changes from whitish to champagne, depending on the angle of viewing.

NÁDRAŽÍ VELESLAVÍN STATION

Nádraží Veleslavín station (see Fig. 3) is the first triple-vault station of the Prague metro. It was driven from the portal in the cut-and-cover part of the station (see Fig. 4) using the NATM. The platform is located at the depth of 19.5m under the terrain surface. The structural layout allowed for the sequential procedure of the construction even in the less favourable geological conditions and under the shallow overburden.

Nádraží Veleslavín station construction

Prior to the commencement of the work on the construction pit, which the Nádraží Veleslavín station was subsequently driven from, it was necessary to divert an existing 125m long, DN400 sewer and a 135m long, DN1000 sewer. The excavation for the diversions helped to carry out the engineering geological survey for the station. In addition, the Castle water main built in 1550–1573, fed from Liboc pond and supplying Prague Castle fountains and gardens with raw water, had to be relocated.

The design for Nádraží Veleslavín triple-vault station was several times fundamentally changed. The originally planned plastic membrane waterproofing was replaced with a spray-on waterproofing system for the reason of the complexity and functionality of the details of the connection of the side tunnels to the central station tunnel. In addition, the technological hinterland was moved to the space of the descending ramp located in the cut-and-cover part of the station. The design originally counted with the placement of the technological hinterland in an independent central tunnel linking the eastern part of the platform. The basic reason leading to the implementation of the new solution lied in the deadline for the completion of civil works required for the installation of equipment in a sub-station and a distribution transformer station, which was required by a master schedule updated as of the 1st August 2013.

After the decision on the relocation of the technological centre from the mined part of the station to the space of the ramp was made, advance work operations necessary for the stabilisation of the construction pit excavated for the technological centre were carried out (from the half of September 2012). They comprised first of all the anchoring of the northern wall of the main construction pit, which was carried out using a complicated drilling technique, across the free depth of the 8m wide descending ramp.

A great challenge during the execution of construction work was presented by the gradual embedding of the future technological centre into the descending ramp when the ramp



Obr. 5 Nástupiště stanice Petřín
Fig. 5 Petřín station platform

Foto/Photo Ing. Jiří Junek, CSc.

V průběhu ražby levého a pravého staničního tunelu docházelo k problémům se stabilitou čelby výrubu. Z důvodu nutnosti zajištění bezpečnosti a zvýšení stability výrubu byly použity chemické injektáže na bázi pěnicích polyuretanů.

Počátkem listopadu 2012 bylo dokončeno definitivní ostění obou bočních staničních tunelů s komplikovanými konstrukčními prvky (podpurné sloupky a trámy), které jsou pro výstavbu podzemních děl unikátní. Poté byly zahájeny ražby středního výrubu. Tyto ražby byly částečně realizovány bez přístupu po sjezdové rampě, pouze s vertikální obsluhou pracoviště.

Objem výrubu ražené části stanice představoval 22 tis. m³, objem výkopu hloubené části 70 tis. m³.

Na východní část nástupiště, která není jinak spojena s povrchem, navazuje únikový objekt složený z 13,8 m hluboké šachty a 56,1 m dlouhé stoly, která se nachází pod ulicí Evropská a kde byly za účelem zlepšení stability horninového masivu provedeny tryskové injektáže. Šachta únikového objektu byla zajištěna pomocí převrtávaných pilot o průměru 900 mm namísto původně plánované realizace pomocí NRTM. V únikovém objektu stejně jako v trojlodní stanici, jak již bylo zmíněno, byla poprvé v našich podmínkách použita stříkaná hydroizolace ve velkém rozsahu (přes 7000 m²). Aplikace hydroizolačního materiálu na bázi polymercementu probíhala ve třech vrstvách a vzniklo tak souvrství o tloušťce 3 mm. V místě dilatačních a pracovních spár musela být vrstva zesílena.

Architektura stanice Nádraží Veleslavín

Stavební objekty vystupující nad terén jsou minimalizované. Ztvárněním zcela odpovídají své funkci a zapadají do daného území. Jejich pojícím prvkem je barevně jednotná ocelová konstrukce a prosklený obvodový plášť s přirozenou reflexí.

Výstupy ze stanice na terén po pevném schodišti jsou navrženy jako otevřené, pouze s parapetními zídkami s keramickým obkladem v cihlově červené barvě z materiálu odolného vůči graffiti a ulpívání nečistot na povrchu.

Místnost dozorčího ve vestibulu stanice je navržena v oblouku a je zde použito strukturální zasklení bez přítlačných lišt. Výška prosklené stěny je 4,5 m. Vestibul společně s touto stěnou designově doplňuje lepený skleněný obklad se vzorem plasticky vystupujících křížků se zrcadlovým efektem. Tento obklad je nalepený na stěně nad eskalátory a lemuje tak dráhu cestujících směřujících na nástupiště.

Svou konstrukcí a tvarem raženého profilu je stanice Nádraží Veleslavín jedinečná. Trojlodní profil nástupiště dodává stanici robustní dojem, který podporují betonové sloupky pod masivními podélnými průvlaky. Tento dojem zvyšuje i žulová dlažba formátu 600x600 mm. Klenby nad nástupištěm jsou obloženy

was still used for the operation of the excavation of the station and ventilation cross passages. The passability through the ramp was terminated after the Doors Open Day held on the 20th January 2013.

Problems with the stability of the excavation face were encountered during the course of the excavation of the left-hand and right-hand station tunnels. Polyurethane-based chemical grouting was applied because of the necessity for securing safety and increasing the excavation stability.

The final lining of both sidewall station tunnels with complicated structural elements (supporting columns and beams), which are unique for the construction of underground workings, was finished at the beginning of November 2012. The excavation for the central station tunnel started subsequently. This excavation was partially realised without the access along the descending ramp, only with vertical servicing of the workplace.

The volume of the mined part of the excavation was 22 thousand m³, whilst the volume of the excavation in the cut-and-cover part amounted to 70 thousand m³.

An escape structure consisting of a 13.8m deep shaft and a 56.1m long gallery passing under Evropská Street, where jet grouting was carried out with the aim of improving the properties of the ground mass, is connected to the eastern part of the platform, which is not connected with the surface in another way. The escape shaft excavation was supported with secant bored piles 900mm in diameter instead of the originally planned realisation using the NATM. A spray-on waterproofing system, identical with the system used in the above-mentioned triple-vault station, was applied to the escape structure, for the first time in our conditions to a great extent (over 7000m²). The application of the polymer-cement waterproofing material proceeded in three layers. A 3mm thick series of layers originated in this way. The thickness had to be increased in the locations of expansion and end-of-shift joints.

Nádraží Veleslavín station architecture

Structures protruding over the terrain surface are minimised. Their architectural rendering fully complies with their functions and they fit into the given area. The uniting element of the structures lies in the uniform-colour steel structure and a glazed envelope with natural reflection.

The exits from the station to the terrain along staircases are designed as open structures, only with parapet walls clad with ceramic tiles in brick red colour from a material resistant to graphiti and dirt sticking to the surface.

The room for a supervisor in the station concourse is designed on a curve. Structural glazing without pressure bars is used there. The glazed wall is 4.5m high. The concourse containing this wall is supplemented by glued glass cladding with the pattern of plastically protruding crosses with a mirror effect. This cladding is glued to the wall above the escalators. It borders the path of passengers heading toward the platform.

Veleslavín station is unique through its structure and geometry of the mined profile. The triple-vault profile of the platform gives the station a robust impression, which is supported by concrete pillars under massive longitudinal beams. This impression is further boosted by granite pavement with 600x600mm slabs. The vaults above the platform are covered with a soffit from vitreous enamel aluminium lamellas in colour combinations. The pillars are clad in stainless steel sheets. Italian thin-walled ceramic tiles 500x1000mm (3.5mm thick) provided with a reinforcing glass mesh are designed for the cladding of walls in public circulation

podhledem z hliníkových smaltovaných lamel v barevných kombinacích. Sloupy jsou obloženy nerezovým plechem. Obklad stěn ve veřejných částech je navržen z italské tenkostěnné keramiky tl. 3,5 mm a formátu 500x1000 mm s výztužnou skelnou sítkou. Obklad má vertikální reliéf a přirozenou hrbatost připomínající kámen, čímž vhodně doplňuje navrženou dlažbu.

Ve stanici se v budoucnu předpokládá propojení na později plánovanou stanici rychlodráhy.

STANICE PETŘINY

Jedná se o jednolodní raženou stanici (obr. 5) s nástupištěm 35 m pod terénem, což představuje nejhrouběji umístěnou stanici na 5. úseku trasy A pražského metra. Délka stanice je 217 m a je situována pod ulicí Brunclíkova, proto musely být veškeré práce prováděny při pečlivém dodržování hygienických norem (omezení hlučných prací v nočních hodinách). Objekt stanice společně s rozfáráním, které se realizovalo 25 m před samotnou stanicí (obr. 6), navázal na tunel pro obrátové koleje o délce 176,5 m a vzduchotechnickou štolu o délce 93 m, která je pokračováním přístupové štolky Markéta.

První polovina stanice je ve stoupání 0,3 % a druhá polovina v úpadním sklonu 0,3 %.

Výstavba stanice Petřiny

Před zahájením realizace stanice došlo k významné změně koncepce oproti zadávací dokumentaci. Původně měla být stanice vybudována až po projetí zeminových štítů. Využitím průzkumného díla – štolky Markéta o délce 220 m – byla ražba stanice realizovaná již v předstihu před příjezdem štítů.

Ražba stanice byla realizována technologií NRTM s délkou záběru 1,5 m a 1 m bez použití trhacích prací a byla rozdělena na dva boční výrubu a jeden střední. Boční výrubu byly dále rozděleny na kalotu, opěří a dno a střední výrub na kalotu, jádro a dno.

Nepřetržitý provoz ražeb stanice probíhal současně na třech pracovištích, přičemž doprava materiálu a odvoz 57 tis. m³ rubaniny byl realizován pouze štolou Markéta.

Eskalátorový tunel se z hlediska výškového vedenírazil ve sklonu 30°, což je obvyklý sklon pro konstrukci eskalátoru.

Ve spodní části větrací šachty byl místo fóliové hydroizolace použit systém stříkaných hydroizolací o celkové tloušťce 3 mm.

Výstavbou stanice došlo k narušení přirozeného volného proudění podzemní vody a tím k vytvoření přehrad. Pro obnovení původního hydrogeologického režimu byly realizovány ve dně stanice převody vody z perforovaných trubek tak, aby voda mohla volně proudit z jedné strany stanice na druhou.

Bezbariérový přístup do stanice je zabezpečen dvěma rychlovýtahy ve výtahové šachtě o celkové hloubce 24 m pod terénem. Navržený způsob realizace výtahové šachty byl změněn. Původně měla být šachta vyhloubena před vyražením vlastní stanice. Avšak pozdním předáním staveniště vlivem připomínek účastníků řízení pro územní rozhodnutí tomu bylo naopak. Stanice se tak zcela vyrazila ještě před zahájením prací na hloubení šachty a teprve poté se výtahová šachta vyhloubila do úrovně cca 3,5 m nad stanicí. Po dokončení definitivního ostění stanice, s vynecháním prostupu do výtahové šachty, byla provedena speciální konstrukce zčásti zabetonovaná do definitivního ostění klenby, která zajistila bezpečnost práce při dohloubení šachty a následném rozřezání primárního ostění stanice. Poté došlo k napojení izolace a definitivního ostění stanice se šachtou.

Definitivní ostění stanice bylo dokončeno podle časového plánu v požadované kvalitě s dodržáním zásad bezpečnosti práce. Práce na definitivním ostění začaly oproti řídicímu



Foto/Photo Ing. Jiří Junek, CSc.

Obr. 6 Rozfárání před stanicí Petřiny

Fig. 6 Bifurcation for the excavation for Petřiny station

spaces. The cladding has a vertical relief and naturally rough surface reminiscent of stone; therefore it suitably supplements the designed pavement.

The station space is expected to be interconnected with the express railway station planned for the future.

PETŘINY STATION

It is a single-vault mined station (see Fig. 5) with the platform at the depth of 35m under the terrain surface, which means that it is the deepest station located on the 5th section of the Prague metro line A. The station is 217m long. It is located under Brunclíkova Street, which is the reason why all operations had to be carried out with sanitary standards (restriction of noisy work during night hours) carefully adhered to. The station structure, together with the bifurcation realised 25m before the station itself (see Fig. 6), linked to the 176.5m long tunnel for dead-end tail tracks and to the 93m long ventilation gallery, which is the continuation of Markéta access tunnel.

The first half of the station is on a 0.3% uphill gradient, whilst the second half is on a downhill gradient of 0.3%.

Petřiny station construction

A significant change in comparison with the tender documentation was made before the commencement of the station construction. The station was originally to be constructed only after the passage of the EPB TBM shields. Thanks to the use of the survey-purpose tunnel – the 220m long Markéta approach tunnel – the excavation of the station was realised in an advance of the arrival of the shields.

The mined station was excavated without blasting, using the NATM with the advance per cycle of 1.5m or 1m. The excavation sequence consisted of two sidewall drifts and one central tunnel. The sidewall drifts were sub-divided into top headings, benches and bottoms.

The continuous excavation for the station proceeded simultaneously at three headings, with the transport of materials and removal of 57,000m³ of muck realised solely via the Markéta approach tunnel.

From the aspect of the vertical alignment, the escalator tunnel was driven on an incline of 30°, which is a gradient customary for escalator structures.

A spray-on waterproofing system with the thickness of 3mm was applied to the lower part of the ventilation shaft instead of a plastic membrane.

harmonogramu o dva měsíce později, ale díky zkrácení doby montáže bednicí formy a zrychlením cyklu betonáže bylo definitivní ostění dokončeno s týdenním předstihem.

Architektura stanice Petřiny

Všechny povrchové objekty stanice Petřiny jsou navrženy v jednotném designu, jehož charakteristickým prvkem je sklo-betonvláknitý obklad s výrazným reliéfem. Navržené zelené prvky vestibulu v podobě popínavých rostlin při fasádách a suchomilné rostliny společně se vzrostlými stromy na střeše následují urbanismus založený z minulých let a v Brunclíkově ulici tak dotvářejí stávající stromořadí.

Dominantními prvky nástupiště je prostorová konstrukce „bublina“ z pohledového betonu s názvem stanice a objekt přepravního manipulanta, který není jako obvykle řešen v podobě dodatečně přidávaných montovaných buněk, ale díky tvarovému a materiálovému řešení je pevně stavebně a prostorově svázán se stanicí. Železobetonový skelet provedený z pohledového betonu je vyplněn kombinací stěn ze sklobetonových tvárnic, vyzděného štukovaného parapetního zdiva a prosklených výplní.

Obklady klenutého prostoru jednolodní stanice, eskalátorového tunelu a podhledy pod stropy jsou provedeny ze smaltovaných hliníkových lamel v klenbě s podélnou negativní spárou, kdy k sobě jednotlivé lamely nepřiléhají. Obklad klenby je na bočních plochách v červeno-hnědém odstínu.

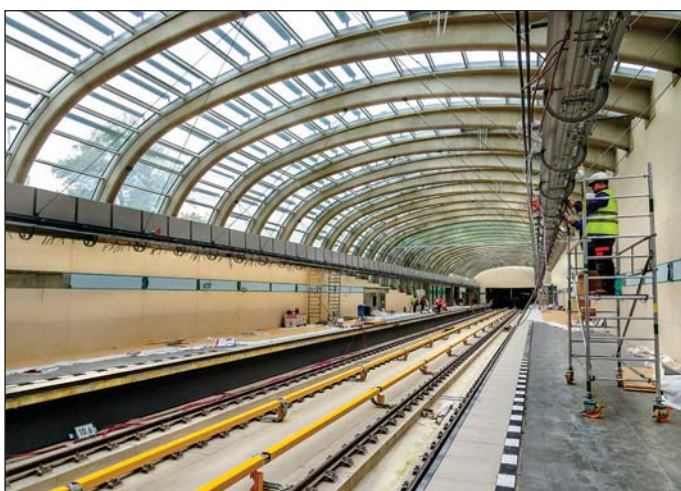
STANICE NEMOCNICE MOTOL A PŘILEHLÉ TRAŤOVÉ TUNELY NRTM

Stanice Nemocnice Motol (obr. 7) je jedinou hloubenou stanicí na novém úseku V.A. Má délku 217 m a hloubka nástupiště je 5,6 m pod terénem. Je jedinou stanicí na trase V.A se dvěma bočními nástupišti. Pod úrovní nástupiště je navržen vestibul, který vzájemně propojí nástupiště pevným schodištěm, eskalátorem a výtahem. Vestibul je napojen na podchod pod ulicí Kukulova ústící do hlavní budovy motolské nemocnice.

Za stanicí se nachází obrátové koleje o délce 406 m, na které navazuje objekt strojovny vzduchotechniky, jejíž nosná konstrukce počítá s případným prodloužením metra a dále na západ Prahy. Stanice Nemocnice Motol je s Vypichem, kde se nacházela montážní šachta štítů, spojena 735 m dlouhým dvoukolejovým tunelem raženým metodou NRTM.

Výstavba stanice Nemocnice Motol a přilehlých stavebních objektů

Původně byl celý tunel pro obrátové koleje navržen jako ražený, avšak na základě zjištěných skutečností (nedostatečně soudržného nadloží) došlo oproti zadávací dokumentaci ke



Foto/Photo Ing. Marián Chotár

Obr. 7 Nástupiště stanice Nemocnice Motol
Fig. 7 Nemocnice Motol station platform

The construction of the station created a dam disturbing the natural free flow of groundwater. Two water bypasses from perforated tubes were realised at the station bottom for the restoration of the original hydrogeological regime so that water could flow freely from one side of the station to the other one.

The barrier-free access to the station is secured by two express lifts installed in a lift shaft with the total depth of 24m under the terrain surface. The proposed method of constructing the lift shaft was changed. Originally the excavation for this shaft was to be carried out prior to the excavation for the station itself. Eventually, it was carried out conversely owing to the delayed handover of the construction site resulting from comments submitted by parties in the building proceedings. In this way, the excavation for the station had been completed before commencement of the excavation for the shaft and only then the excavation for the lift shaft was carried out down to the level of ca 3.5m above the station. After the completion of the final lining of the station, with an opening for the lift shaft left in it, a special structure partly embedded in the concrete final lining vault was carried out. It secured the safety at work when the excavation for the shaft was being completed to the full depth and the primary lining of the station was subsequently being cut into pieces. After that, the waterproofing and the final lining of the station were connected to the shaft.

The final lining of the station was finished on schedule, in the required quality and with safety at work rules adhered to. The work on the final lining commenced with a two-month delay of schedule. Owing to the reduction of the formwork assembly time and the acceleration of the concrete casting cycle, the final lining was completed one week in advance.

Petřiny station architecture

All at-grade structures of Petřiny station are designed to follow a unified style the characteristic element of which is a glassfibre reinforced plastic cladding with a noticeable relief. The proposed green elements of the concourse in the form of plants climbing on the façades and xeric plants together with grown trees on the roof follow the urbanism founded during the past years; in Brunclíkova Street they even complement the existing tree lines.

Dominant elements of the platform comprise a spatial structure from concrete with architectural finishes, the Bubble carrying the name of the station, and a booth for the transport operator, which is solved, owing to the geometrical and material solution, as a structure firmly structurally bound with the station instead of the usual system of subsequently added assembled cells. The reinforced concrete frame carried out using architectural concrete is filled with a combination of glass concrete blocks; masonry parapet walls provided with hard finish and glazed infill above them.

The cladding of the vaulted space of the single-vault station and the escalator tunnel and ceiling soffits are from vitreous enamel aluminium lamellas with a negative longitudinal joints between them – individual lamellas do not touch each other. The vault cladding on the side surfaces is in the reddish-brown shade.

NEMOCNICE MOTOL STATION AND ADJACENT NATM RUNNING TUNNELS

Nemocnice Motol station (see Fig. 7) is the only cut-and-cover station on the new metro section V.A. It is 217m long and the platform is at the depth of 5.6m under the terrain surface. It is the only station on the line V.A with two side

změně koncepce výstavby. Úsek obrátových kolejí byl rozdělen na raženou část v délce 217 m a hloubenou část v délce 189 m. S ohledem na změnu zjištěných geotechnických parametrů horninového masivu proběhla ražba tunelu pro obrátové koleje v délce 149 m pod ochranou mikropilotových deštníků délky 12 m.

Výstavbou hloubené části obrátových kolejí došlo k narušení přirozeného volného proudění podzemní vody a tím k vytvoření přehrad, obdobně jako ve stanici Petřiny. Pro obnovení původního hydrogeologického režimu byly ve dně stavební jámy provedeny příčné drény o rozměrech 550x500 mm, opatřené dvěma drenážními trubkami DN 200 mm.

Během ražby VZT štol bylo zastiženo staré důlní dílo. Jednalo se zřejmě o objekt vojenské nemocnice budované za 2. světové války. Překvapením bylo to, že chodba starého důlního díla byla ražena v horizontu břidlic, ačkoliv Úřad pro výzkum půdy v Čechách a na Moravě v čele s Dr. Odolenem Kodymem doporučil v říjnu 1944 ražbu v horizontu pískovců. Na základě provedených průzkumných prací bylo zjištěno, že realizovaný rozsah starého důlního díla je minimální. Dodnes zůstává záhadou, proč v roce 1944 toto staré důlní dílo vyrazili pouze v objeveném rozsahu a v břidlicích.

Zajímavostí je nosný systém proskleného střešního pláště stanice tvořený z 39 železobetonových prefabrikovaných obloukových nosníků. Z důvodu nadměrného rozměru pro přepravu se většina nosníků rozdělila na dva samostatné díly, které byly na stavbě vzájemně sepnuty a předepnuty sedmi drátovými lany. Tvar nosníků vychází z geometrie stanice a zároveň zohledňuje stoupající svah na severní straně a přilehlou ulici na jižní straně, tzn., že každý nosník má jinou délku a geometrii. Průřez nosníků přechází z tvaru T v místě vetknutí na jedné straně do tvaru lichoběžníku s kloubovým uložením na straně druhé. Výrobce se musel vypořádat s milimetrovými tolerancemi rozměrů a vysokými požadavky na pohledovost povrchů.

Architektura stanice Nemocnice Motol

Poloha stanice využívá terénního snížení ve svahu naproti FN Motol, nástupiště tak může být přímo spojeno s vnějším okolím a navazující traťové úseky pokračují v podzemí. Poloha nástupišť na úrovni terénu a potřeba spojit stanici s nemocnicí bez kolize s frekventovanou Kukulovou ulicí vyústila v netradiční umístění vestibulu pod úrovní nástupiště, kde nad hlavami cestujících budou projíždět soupravy metra po mostě. Na vestibul přímo navazuje podchod směřující k nemocnici.

Stanice je vizuálně rozdělena na tři části – na obou koncích jsou výstupy, tvořené nízkými objekty obloženými modřínovými profily, ploché střechy jsou osázeny suchomilnou zelení. Střecha nad prostřední částí – nástupištěm – je prosklená a částečně potíšena stínicí grafikou, před sklem jsou osazeny venkovní žaluziové lamely. Ve vrcholu proskleného oblouku jsou otvíravá okna sloužící k větrání během léta, zároveň plní funkci odvodu tepla a kouře při požáru.

Na vnitřní povrchy stanice jsou použity tenkostěnné keramické obklady netradičního rozměru 3x1 m v decentní béžové barvě.

JEDNOKOLEJNÉ TRAŤOVÉ TUNELY EPBS

Jednokolejné traťové tunely o délce 4177 m byly raženy dvěma stroji s označením S-609 „Tonda“ a S-610 „Adéla“, přesněji dvěma zeminovými štíty EPBS.

platforms. A concourse is located under the platform level. It will interconnect the platform with a fixed staircase, an escalator and a lift. The concourse ending in the main building of Nemocnice Motol hospital is connected to the pedestrian passage under Kukulova Street.

There are 406m long dead-end tail tracks behind the station, which are followed by the ventilation plant room structure, the load-bearing structure of which counts with the contingent extension of the metro Line A further towards the west of Prague. Nemocnice Motol station is connected with Vypich, where the shaft for the assembly of the TBMs was located, via a 735m long double-track tunnel mined using the NATM.

The construction of Nemocnice Motol station and adjacent civil engineering structures

The entire tunnel for the dead-end tail tracks was originally designed as a mined structure. However, based on findings of some facts (insufficiently coherent sub-grade) the construction concept contained in the tender documentation was changed. The dead-end tail track section was divided into a 217m long mined part and an 189m long cut-and-cover part. With respect to the change in the identified geotechnical parameters of the ground mass, the 149m long tunnel for the dead-end tail tracks was driven under the protection of 12m long canopy tube pre-support.

The natural free flow of groundwater was disturbed by the construction of the cut-and-cover part of the tunnel for dead-end tail tracks; a dam was created similarly to the dam at Petřiny station. Transverse drains 550x500mm containing a pair of DN200mm tile pipes were created in the construction pit bottom for the purpose of the restoration of the original hydrogeological regime.

An old mine working was encountered during the excavation for the ventilation gallery. It was probably a structure of the military hospital built during World War 2. It was surprising that the gallery of the old mine working was driven through a shale horizon despite the fact that the Administration for Soil Investigation in Bohemia and Moravia, headed by Dr. Odolen Kodym, recommended in October 1944 that the gallery should be driven through a sandstone horizon. It was determined on the basis of survey operations that the extent of the completed old mine working was minimum. It remains to be a mystery why this old mine working was driven in 1944 only to the discovered extent and, in addition, through shale.

The load-bearing system of the glazed roof covering the station is an interesting item. It consists of 39 reinforced concrete pre-cast arched beams. The majority of the beams was divided into two independent parts with respect to the dimensions excessive for transportation. The parts were tied together on site and were pre-stressed by seven steel wire strands. The shape of the beams is based on the geometry of the station and, at the same time, takes into account the rising slope on the northern side and the adjacent street on the southern side. This means that each beam has got a different length and geometry. The cross-section of the beams passes from a T-shape at the fixing point on one side to a trapezoidal shape with hinged restraint on the other side. The manufacturer had to cope with millimetre dimensional tolerances and high requirements for the architectural concrete finishes.

Nemocnice Motol station architecture

The location of the station takes advantage of the terrain depression in the slope against Motol University Hospital. Owing to this fact, the platform can be directly connected to

Montáž každého štítu v montážní jámě na Vypichu trvala dva měsíce. Pro manipulaci s jednotlivými částmi stroje, které měly v některých případech hmotnost přes 60 t, byl použit mobilní jeřáb s nominální nosností 750 t. Pro dopravu všech součástí obou štítů i s pomocnými technologiemi bylo zapotřebí přes 150 kamionů.

Délka stroje je 102 m a celková hmotnost bez provozních kapalin je 672 t. Stroj se skládá z řezné hlavy o průměru 6,08 m, motorové jednotky, ochranného štítu a 7 vozíků se zařízením potřebným pro plynulý chod stroje.

K přemístění horniny od štítu na povrch bylo použito přes 12 km pásového dopravníku.

Segmentové prefabrikované ostění je složeno z 5+1 segmentu. Na celou trasu bylo použito 32 400 kusů segmentů o celkové váze 87 237 t. Segmenty byly vyrobeny z vodotěsného betonu a po obvodu osazeny profilovanou těsnicí páskou.

Prstenec je svou geometrií váleček, jehož podstavy nejsou rovnoběžné. Na jedné straně je díky tomu prstenec užší než na straně protější. Natočením prstence podle jeho podélné osy bylo tedy možné směřovat tunel podle projektované osy.

Pro zaplnění prostoru mezi výrubem a vnější plochou ostění se použila dvousložková injektážní směs, která se vyráběla v míchacím centru na povrchu. Pomocí čerpadel se potom potrubím dopravovala až ke štítu. Na obou strojích bylo provedeno zdokonalení směšovače obou tekutých složek a tento nápad byl patentován.

Ražby štítů z montážní šachty byly zahájeny 12. 4. 2011 (Tonda) a 14. 7. 2011 (Adéla). Stroje celkově absolvovaly 12 prorážek, z toho 6 do nových ražených stanic, 4 do otevřených stavebních jam a 2 do stávající stanice Dejvická, kde v pondělí 26. listopadu 2012 slavnostně zakončily ražby. Nejlepšího dosaženého denního výkonu, tj. 37 bm dosáhla „Adéla“, nejlepšího měsíčního výkonu zase pak „Tonda“, když v listopadu 2011 vyrazil 625,5 m.

Projekt jednokolejných tunelů ražených štíty byl rozdělen na dvě části. První část je etapou mezi staveništi BRE1 (ulice Na Vypichu) a E2 (ulice Evropská). Výstavba úseku dlouhého cca 1,8 km včetně průtahů strojů stanicemi trvala téměř na den přesně 1 rok.

Druhá část ražeb spočívala ve výstavbě traťových tunelů mezi zařízením staveniště E2 a stanicí Dejvická. Mezi těmito ražbami musela být přestěhována logistika ze staveniště BRE1 na staveniště E2 (obr. 8). Přičemž 80 % konstrukcí a technologií z BRE1 bylo znovu použito na E2. Pro přesun a opětovnou montáž byla vytvořena speciální skupina pracovníků. Tonda byl v průběhu přemístění logistiky protahován stanicí Bořislavka. Pro přesunutí více než 500 tun materiálu mezi BRE1 a E2 bylo použito na 600 jeřábnických hodin a 5 různých typů jeřábů.

Ražby stanic i traťových tunelů probíhaly současně. Tunelovací stroje razily pouze mezistanční úseky a stanicemi a stavebními jámami byly protahovány. Každý průtah byl nestandardní a přizpůsoboval se konkrétním podmínkám stanice. Průtahy byly postupně zdokonalovány a stávaly se rychlejšími a efektivnějšími. Posun stroje byl během ražby realizován pomocí tlačných lisů, které se opíraly vždy o poslední zabudovaný prstenec. Ve stanici však prstence stavěny nebyly, a stroj se proto musel odrážet od provizorních rámců, které se opířely do kolejí instalovaných v kolíbkách. Po odrazu stroje do vzdálenosti 2 metrů se rám posunul a celý proces se opakoval. Závěs byl pasivně tažen po kolejích, které se zprvu kladly do provizorního dna tvořeného klasickými tunelovými segmenty. Později se místo segmentů začaly používat ocelové konstrukce, které se ukázaly jako mnohem výhodnější řešení,

the surroundings; the linking track sections continue underground. The location of the platforms at the terrain level and the need for connecting the station with the hospital without collision with busy Kukulova Street led to the untraditional location of the concourse under the platform level, where metro trains will run on a bridge, above the heads of passengers. A pedestrian subway heading toward the hospital directly connects to the concourse.

The station is visually divided into three parts – there are exits formed by low structures clad in larch profiles at both ends. Flat roofs are planted with xeric plants. The roof above the central part – the platform – is glazed and partially covered with shading graphics printed on the glass. External louver blades are installed before the glazing. Opening windows used for the ventilation during summer and, at the same time, fulfilling the function of the evacuation of heat and smoke in case of a fire, are installed at the top of the glazed arch.

Thin-walled ceramic cladding with non-traditional dimensions of 3x1m, in decent beige colour, are used for inner surfaces of the station.

SINGLE-TRACK RUNNING TUNNELS, EPB TBMS

The 4177m long running tunnels were driven by two Earth Pressure Balance tunnel boring machines (TBMs), named S-609 „Tonda“ and S-610 „Adéla“.

The assembly of each TBM in the assembly pit in Vypich took 2 months. A mobile crane with the nominal lifting capacity of 750 tonnes was used for the handling of individual parts of the machines. Their weight exceeded 60 tonnes in some cases. The transport of all components of the two TBMs and auxiliary technologies was carried out by over 150 trucks.

The TBM is 102m long and the total weight without operating fluids amounts to 672 tonnes. The machine consists of a 6.08-diameter cutterhead, a motor unit, a protective shield and 7 cars carrying equipment needed for fluent running of the TBM.

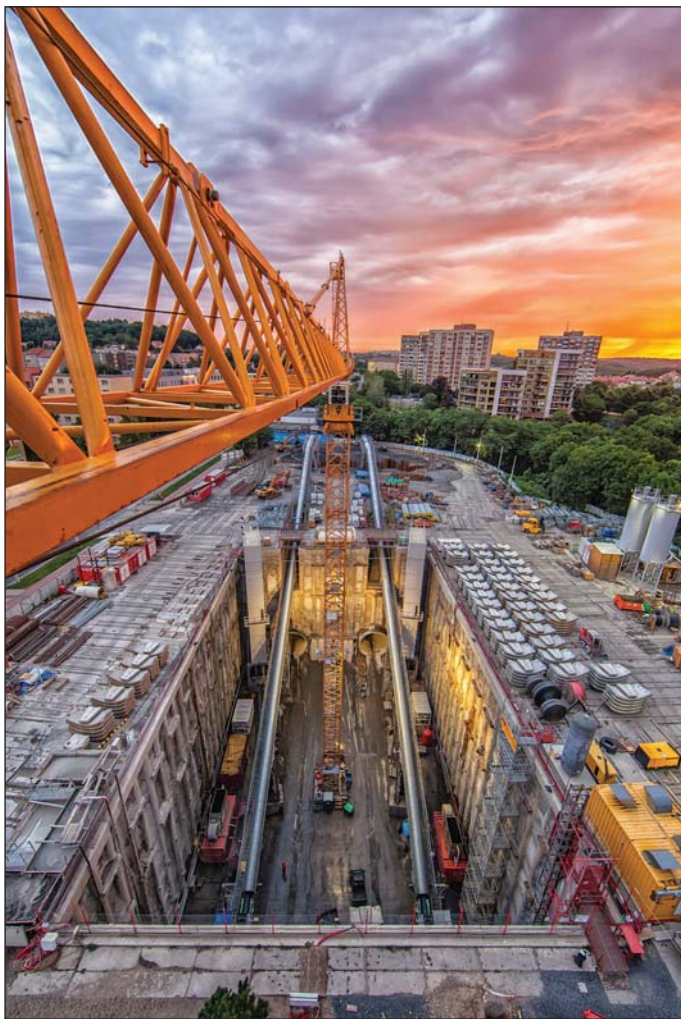
An over 12km long belt conveyor transported the muck from the shield to the ground surface.

One pre-cast segmental lining ring consists of 5+1 segments. The entire route required 32,400 segments at the total weight of 87,237 tonnes. The segments were manufactured from water-retaining concrete. They are fitted with profiled sealing gaskets around the perimeter.

The geometry of the ring is cylindrical; the bases of the cylinder are not parallel. Owing to this fact, the ring is narrower on one side than on the opposite side. It was therefore possible to change the tunnel driving direction to maintain the designed axis by rotating the ring around its longitudinal axis.

A two-component grouting mixture, which was produced in a mixing centre at the surface, was used for backfilling the space between the surface of the excavated opening and the outer surface of the lining. The grouting mix was subsequently transported underground up to the shield by means of pumps and a pipeline. The improvement of the mixer of both liquid components was carried out on both TBMs and this idea was patented.

The TBM drives starting from the assembly shaft commenced on the 12th april 2011 (Tonda) and the 14th July 2011 (Adéla). The machines passed through the total of 12 breakthroughs, 6 of them into new mined stations, 4 into open construction pits and 2 into the existing station, Dejvická, where they ceremonially ended the drives on Monday, the 26th November 2012. The highest daily advance rate was achieved



Foto/Photo Jan Tatar

Obr. 8 Jáma E2 po přesunu logistiky zeminových štítů
Fig. 8 E2 construction pit after moving the logistics

neboť se mohly použít opakovaně a jejich pokládka byla mnohem snazší.

Propojky mezi traťovými tunely

Mezi jednokolejnými traťovými tunely jsou na celém novém úseku metra V.A po zhruba 200 m rozmístěny vzduchotechnické propojky (obr. 9). Tyto objekty mají za úkol snižovat pístový účinek od jedoucích vlaků a v případě havárie nebo požáru slouží k evakuaci osob a nástupu záchranných jednotek.

Místa pro vyražení propojek byla upřesněna podle polohy a skladby segmentového ostění. Před započítáním výstavby propojky se do obou traťových tunelů nainstalovala ocelová rozpěrná konstrukce, která zamezila posunu dílců montovaného ostění traťových tunelů během realizace propojky. Nejprve byl v segmentovém ostění vyřezán otvor 4500x3000 mm. Ražba propojky byla prováděna podle zásad NRTM a probíhala ve třech fázích: nejprve byla provedena ražba kaloty, následovalo přeražení navyšujícího se profilu na začátku kaloty a nakonec byla provedena ražba dna propojky.

Všechny propojky v traťovém úseku Bořislavka – Dejvická byly raženy v nestabilním horninovém prostředí, které bylo pro vlastní ražbu vzhledem k poloze pod ul. Evropská velmi rizikové. Z tohoto důvodu se v předstihu pomocí tryskové a chemické injektáže zpevnilo okolní prostředí. V traťovém úseku Bořislavka – Dejvická bylo původně naplánováno osm propojek, jedna však byla z výše uvedených důvodů přesunuta do sdruženého objektu E1, který sloužil mimo jiné i pro vytažení demontovaných štítů.

by “Adéla”, whilst the highest monthly advance rate was achieved by “Tonda”, which excavated 625.5m of the tunnel in November 2011.

The design for the single-track running tunnels was divided into two parts. The first part covers the section between BRE1 construction site (Na Vypichu Street) and E2 construction site (Evropská Street). The construction of the 1.8km long section, including the time consumed for pulling the TBMs through stations, took almost exactly 1 year.

The other part of the drives lied in the construction of running tunnels between the E2 construction site and Dejvická station. The logistics had to be moved from BRE1 construction site to E2 construction site when the first part was finished (see Fig. 8). In doing so, 80% of structures and equipment from BRE1 were reused at E2 construction site. A special group of workers was established for moving and repeated assembling. During the logistics moving operation, “Tonda” was being pulled through Bořislavka station. About 600 crane operation hours and 5 various types of cranes were used for moving over 500 tonnes of material from BRE1 to E2.

The station tunnels and running tunnels were driven simultaneously. The TBMs drove the interstation sections and were only pulled through stations and construction pits. Each case of pulling was non-standard and was accommodated to specific conditions of the particular station. The process of pulling the TBMs through stations was gradually refined and became faster and more efficient. The TBM was shifted during the work by thrust jacks acting against the last installed ring. However, since no rings were built in the station, the machine had to be pushed from temporary frames leaning against rails installed in cradles. After pushing the machine 2 metres ahead, the frame was shifted and the entire process was repeated. The trailing gear was passively pulled along a track, which was in the beginning installed on a temporary bottom formed by classical tunnel lining segments. The steel structures which started to be used later proved themselves to be much more advantageous because of the fact that they could be used repeatedly and their placement was much easier.

Cross passages between running tunnels

Ventilation cross passages are distributed between the single-track running tunnels throughout the new metro section length, at intervals of about 200m (see Fig. 9). The task of these structures is to reduce the piston effect from running trains and, in the case of an accident or a fire, to allow for the evacuation of persons and for the entry of rescue units.

The points where the cross passages were to be driven were specified depending on the position and configuration of segmental lining blocks. Steel bracing structures were installed in both tunnel tubes before the commencement of the construction work. They were designed to prevent the segments lining the running tunnels from shifting during the course of the realisation of the cross passage. First of all, a 4,500x300mm opening was cut through the segmental lining. The cross passage was driven using the NATM. It proceeded in three phases: the top heading was excavated first; the increasing height of the profile at the beginning of the top heading excavation was finished subsequently; the cross passage bottom was excavated in the end.

All cross passages within the Bořislavka – Dejvická station section were driven through an instable ground environment, which was very risky for the excavation itself with respect to the location under Evropská Street. For that reason the surrounding environment was consolidated in advance by jet



Foto/Photo Ing. Jiří Junek, CSc.

Obr. 9 Ražba vzduchotechnické propojky mezi traťovými tunely na úseku Dejvická–Bořislavka

Fig. 9 Driving ventilation cross passages between running tunnels in the Dejvická–Bořislavka section

Liniové objekty

Po dokončení ražeb a definitivního ostění traťových tunelů následovala fáze výstavby, při které byly v traťových tunelech provedeny veškeré konstrukce nutné k osazení kolejového svršku a technologického zabezpečení metra.

V rámci této fáze byly v traťových tunelech realizovány kolejové betony, kolejový svršek, kabelové konstrukce, osvětlení traťových tunelů a tunelový vodovod. Výstavba těchto objektů trasy byla velmi koordinačně a časově náročná, protože musela být realizována v souběhu s již probíhající výstavbou vnitřních konstrukcí stanic.

Ve dně kruhových traťových tunelů vybudovaných pomocí štítu bylo nutné nejdříve vybetonovat rovný podklad, na který byly následně betonovány kolejové betony. V závislosti na typu antivibračního zařízení kolejového svršku je podklad umístěn 600 nebo 800 mm pod temenem kolejnice. Pro dopravu betonu v traťovém úseku Bořislavka – Dejvická byly z ul. Evropská provedeny čtyři zásobovací vrty do vzduchotechnických propojek.

V místech, kde by provoz metra hlukem mohl ovlivňovat okolní zástavbu, byly traťové tunely opatřeny antivibračním zařízením, které může mít podle míry ovlivnění až tři stupně: upevnění kolejnice, podkladnicové desky pod kolejnicemi a antivibrační rohože umístěné okolo podélných pasů kolejových betonů.

Montáž koleje byla prováděna ze 100 m kolejnicových pasů, které se svařovaly z 25 m dlouhých kolejnic na provizorním roštu přímo na stavbě v zavážecím otvoru na staveništi KU1 v Motole.

TECHNOLOGIE

Úsek metra V.A má nově zřízeny dva nezávislé přívody elektrické energie z rozvodu 110/22 kV do stanic Dejvická a Nemocnice Motol. Napájení trakce 750 V stejnosměrného napětí zajišťuje pět nových trakčních měničů, které jsou umístěny do čtyř nových stanic a do vzduchotechnického objektu E1 (Kanadská).

Oproti stávajícím stanicím bylo zvýšeno zabezpečení objektu, zejména proti nežádoucímu vniku osob do tunelu a navazujících částí.

Stanice jsou navrhovány podle nových norem a směrnic Dopravního podniku hl. m. Prahy, což má za následek modernější technologická vybavení, zvýšenou bezpečnost cestujících a to zejména při požáru.

Montáž technologií byla zahájena k 1. 8. 2013 ve stanici Nemocnice Motol předáním stavební připravenosti (STP) pro měnírnu a distribuční trafo (MDT). Následně k 1. 9. 2013 byly předány prostory ve stanici Petřiny a k 1. 10. 2013 ve stanici Nádraží Veleslavín. Nakonec vlivem zpoždění ražby stanice Bořislavka o 200 dní se předala nejdůležitější STP pro MDT se 120denním zpožděním, tj. 1. 12. 2013.

grouting and chemical grouting. Eight cross passages were originally planned for the Bořislavka – Dejvická track section; however, for the above-mentioned reasons, one of them was shifted to the construction pit for the E1 multi-purpose structure, used, among other purposes, for lifting the dismantled TBMs to the surface.

Linear structures

After the completion of the excavation and the final lining of running tunnels, the civil engineering construction phase followed. During this phase, all structures required for the installation of trackwork and the interlocking system were carried out in the running tunnels.

Trackbed concrete, trackwork, cable structures, the lighting of running tunnels and water mains were carried out in the running tunnels during this phase. The construction of these structures was very demanding in terms of the coordination and time consumption because of the fact that it had to be realised concurrently with the already proceeding work on inner structures of the stations.

It was first of all necessary to cast concrete on the bottom of the TBM-driven circular running tunnels to form a flat base. Trackbed concrete was subsequently cast on the base. The bed is found 600mm or 800mm under the top of rail, depending on the type of the anti-vibration system. Four supply boreholes ending in the ventilation cross passages were carried out in Evropská Street for the purpose of supplying concrete in the Bořislavka – Dejvická track section.

In the locations where the metro operation could disturb the buildings existing in the vicinity by noise, the running tunnels were provided with an anti-vibration system, which could have up to three stages, depending on the degree of influence: fastening of rails, base plates under rails and anti-vibration mats installed along the longitudinal trackbed concrete plinths.

The rails were placed using 100m long stretches of rails, which were welded from 25m long rails on a temporary grid directly on site, in the opening used for supplying materials at the KU1 construction site in Motol.

TECHNOLOGY

Two newly installed independent power supply lines from 110/22kV substations leading to Dejvická and Nemocnice Motol stations were laid for the metro section V.A. The 750kV DC traction power supply is provided by five new traction substations, which are installed in four new metro stations and the E1 ventilation structure (Kanadská Street).

In comparison with the existing stations, the protection of structures was improved, first of all the prevention against undesired entry of persons to tunnels and adjacent parts.

The stations are designed in compliance with new standards and directives issued by the Prague Public Transit Company Inc. This system has resulted into more modern technological equipment and improved safety of passengers, first of all during a fire.

The installation of technological equipment started in Nemocnice Motol station on the 1st August 2013 by handing the completed civil works required for the installation of equipment in the substation and distribution transformer station (DTS) over to the contractor for technology. The spaces in Petřiny station and Nádraží Veleslavín station were handed over subsequently, on the 1st September 2013 and the 1st of October 2013, respectively. Eventually, due to a 200-day delay in the excavation for Bořislavka station, the most important hand-over of the DTS took place with a 120-day delay, i.e. on the 1st December 2013.

After bringing the new metro section into service, a pilot project will be implemented covering not only stations but also running tunnels of the metro line V.A with signals of mobile operators.



Foto/Photo Ing. Jiří Junek, CSc.

Obr. 10 Vlaková souprava v obrátovém tunelu za stanicí Nemocnice Motol
Fig. 10 Metro train in the tunnel for dead-end tail tracks behind Nemocnice Motol station

Po otevření nového úseku metra bude realizován pilotní projekt pokrytí signálem mobilních operátorů nejen ve stanicích, ale i v tunelech trasy V.A.

ZÁVĚREM...

Od ledna 2015 se dokončovalo odstraňování vad a nedodělků evidovaných v přejímacím řízení s investorem a vlivem příznivého počasí se v předstihu provedly terénní úpravy a napojení výstupů na stávající chodníky a komunikace.

V únoru a první polovině března se konalo kolaudační řízení s Magistrátem hl. m. Prahy.

První vlaková souprava vyjela na nový úsek trasy A v noci 10. 2. 2015 (obr. 10 a 11).

Ve dnech od 16. 3. do 31. 3. 2015 probíhal na novém úseku metra A ověřovací provoz. Následně se prováděl generální úklid na celé trase před jejím otevřením. Slavnostní zahájení provozu s cestujícími proběhlo na Velikonoční pondělí 6. dubna 2015 ve stanici Nádraží Veleslavín.

Podle vedoucího odboru investic Dopravního podniku Ing. Lukáše Krumla se v roce 2008 předpokládaly náklady na výstavbu Metra V.A. 18,7 mld. Kč. Po započítání původně předpokládané inflace se měla celková cena vyšplhat na 21,2 mld. Kč. Inflace naplněna nebyla, ale projekt dostál mnoha změn. V roce 2012 byla na základě predikce dopadů nastalých změn do ceny stanovena maximální cena díla na 22,5 mld. Kč, což byla původní cena navýšená o odhady dodavatelů a rezervu. Ing. Lukáš Kruml uvedl, že rezerva 2,3 mld. Kč nebude vyčerpána a celková cena díla nepřesáhne 20 mld. Kč, z čehož finanční dotace z EU je cca 8 mld. Kč.

Ing. ANNA SVOBODOVÁ, anna.svobodova@metrostav.cz,

Ing. JIŘÍ JUNEK, CSc., junek@metrostav.cz,

Ing. MIROSLAV FILIP, miroslav.filip@metrostav.cz,

METROSTAV a.s., Divize 8

Recenzovali: Ing. Vladimír Prajzler, doc. Ing. Matouš Hilar, Ph.D.



Foto/Photo Ing. Jiří Junek, CSc.

Obr. 11 Průjezd vlakovou soupravu dvoukolejným tunelem mezi Vypichem a stanicí Nemocnice Motol – pohled z kabiny strojvedoucího
Fig. 11 The passage of a metro train through the double-track tunnel between Vypich and Nemocnice Motol station – viewed from train operator's cabin

TO CONCLUDE ...

Snagging works required during the hand-over proceedings with the project owner were carried out from January 2015; owing to the favourable weather, terrain finishes and connections of exits to existing pavements and roads were carried out in an advance.

The final inspection proceedings with the Prague City Hall took place in February and the first half of March.

The first train set out on the new metro section A at night on the 10th February 2015 (see Figures 10 and 11).

The trial operation of the metro system took place on the new section from 16/03/2015 through to 31/03/2015. General cleaning of the entire line before the inauguration was carried out subsequently. The ceremonial bringing of the line into passenger service took place in Nádraží Veleslavín station on the Easter Monday, the 6th April 2015.

According to Ing. Lukáš Kruml, the head of the Department of Investment of the Prague Public Transit Company Inc., the cost of the Metro V.A construction was assumed to be CZK 18.7 billion. After the inclusion of the originally assumed inflation, the total cost was to rise to CZK 21.2 billion. The inflation assumption was not reached, but the project underwent many changes. In 2012, the maximum cost of the works was set at CZK 22.5 billion on the basis of the prediction of the impacts of the changes on the cost. It consisted of the original cost increased by estimates of contractors and a reserve added to it. Ing. Lukáš Kruml stated that the reserve of CZK 2.3 billion would not be depleted and the total cost of the works would not exceed CZK 20 billion, with the financial subsidy from the EU amounting to ca CZK 8 billion included in it.

Ing. ANNA SVOBODOVÁ, anna.svobodova@metrostav.cz,

Ing. JIŘÍ JUNEK, CSc., junek@metrostav.cz,

Ing. MIROSLAV FILIP, miroslav.filip@metrostav.cz,

METROSTAV a.s., Divize 8

LITERATURA / REFERENCES

- CYRŮŇ, D., HYBSKÝ, P., IVOR, Š., PRAJER, J., SCHIFFAUER, F., HASÍK, O. Technologie ražby zeminovými štíty jednokolejných tunelů metra V.A. *Tunel*, 3/2011
- BICAN, P., CHAMRA, P., DOHNÁLEK, V., PANUŠKA, J., VYDROVÁ, L. Stanice Veleslavín – První trojlodní stanice pražského metra navržená metodou NRTM. *Tunel*, 1/2012
- JUNEK, J. Ukončení ražeb na stavbě metra V.A. Sborník ke 12. mezinárodní konferenci Podzemní stavby Praha 2013
- VÍTEK, P., RÖSSLER, K., JUNEK, J., HYBSKÝ, P. Segmentové ostění V.A. Sborník *Konstrukční beton v České republice 2010–2013 k 4. fib kongresu v Mumbai 2014*
- LUDVÍČEK, P. Není nad účelné vynakládání finančních prostředků. *DP kontakt*, 2/2015

TUNELOVÝ KOMPLEX BLANKA – SOUHRN STAVEBNÍCH PRACÍ

BLANKA COMPLEX OF TUNNELS – CONSTRUCTION WORK OVERVIEW

JIŘÍ VALEŠ, STANISLAV FALHAR, EVA KÚRKOVÁ

ABSTRAKT

Tunelový komplex Blanka je součástí severozápadní části městského okruhu. Převážnou část této vyjímečné stavby realizuje jako generální dodavatel stavební části Metrostav a.s. Článek udává přehled průběhu výstavby jednotlivých podzemních částí stavby a konstrukcí podzemních garáží. V textu jsou shrnuty významné časové údaje z postupu realizace stavební části. Dále příspěvek obsahuje délky tunelů jednotlivých částí staveb a hlavní objemy vykonaných prací, tj. objem vytěžené horniny a zeminy, zabudovaného konstrukčního betonu, hmotnost zabudované výztuže, plochu hydroizolací a objem podzemních stěn. Součástí příspěvku je základní popis a dělení celé stavby. Závěrem je popsáno použití zajímavých technologií, kde jsou uvedené poznatky a doporučení, které je možné využít pro případnou realizaci podobných stavebních konstrukcí.

ABSTRACT

The Blanka complex of tunnels is part of the north-western section of the City Circle Road (the inner circle). The major part of this exceptional underground structure is being realised by Metrostav a.s. in the position of the general contractor. The paper presents an overview of the process of the construction of individual underground parts of the project and the structures of underground parking garages. Important time data from the process of the realisation of the civil engineering part is summed up in the text. In addition, the paper contains the information on the lengths of individual tunnel parts and the main volumes of the completed work, i.e. the volume of excavated rock and soil, the concrete incorporated into the structures, the weight of concrete reinforcement steel, the area of waterproofing membranes and the volume of diaphragm walls. The basic description and division of the entire project is also part of the paper. The use of interesting technologies is described in the conclusion, where the authors present their knowledge and recommendations applicable to the contingent realisation of similar civil engineering structures.

ÚVOD

Tunelový komplex Blanka je součástí městského okruhu Prahy (obr. 1). Část v dodávce Metrostav a.s. navazuje na budouvanou stavbu č. 0065 - Strahovský automobilový tunel stavba 2A a 2B, která je realizována jiným dodavatelem, ale je rovněž jeho součástí. Jedná se o jednu z nejnáročnějších podzemních staveb realizovanou v městském prostředí ve střední Evropě. V průběhu realizace bylo nutno ve spolupráci s investorem zajistit velké množství podmínek, aby stavba plynule pokračovala. Bylo nutno vydat nespočet stavebních povolení, dohodnout dopravní režimy po celé trase stavby včetně projednání dopravních cest pro odvoz

INTRODUCTION

The Blanka complex tunnel is part of the Prague City Circle Road (the inner circle) (see Fig. 1). The part which contractor is Metrostav a.s. links to the tunnel structure registration number 0065 2A and 2B which is realised by another contractor but it is the part of the tunnel complex, too. It is one of the most complicated underground construction projects realised in the urban environment in Central Europe. It was necessary to ensure during the course of the realisation, in collaboration with the project owner, that lots of conditions were met so that the works could fluently continue. It was necessary to issue

countless construction permissions, to have traffic regimes throughout the construction route length approved, including approvals for transport routes for the removal of excavated ground and muck at the total volume of 2.6 million m³ (natural ground volume).

BASIC DESCRIPTION AND DIVISION OF THE PROJECT

Various structures worth reminding were carried out during the course of the implementation of the Blanka complex of tunnels project. The tunnels can be divided into three basic types: tunnels driven using the NATM,



Obr. 1 Celkový pohled na tunelový komplex Blanka (části v dodávce Metrostav a.s.)
Fig. 1 Overall view of Blanka complex of tunnels (parts in supply of Metrostav a.s.)

archiv / archives Satra spol. r. o.



Obr. 2 Stavební jáma Troja – rok 2007

Fig. 2 Troja construction pit – 2007

výkopu a rubaniny s celkovým množstvím 2,6 mil. m³ (rostlý stav).

ZÁKLADNÍ POPIS A DĚLENÍ STAVBY

Při výstavbě tunelového komplexu Blanka byly prováděny různé konstrukce, které stojí za připomenutí. Tunely lze rozdělit na tři základní typy: tunely ražené pomocí NRTM, hloubené tunely budované v otevřené zajištěné stavební jámě a hloubené tunely realizované pomocí podzemních stěn s čelním odtěžováním pod předem vybetonovanou a zasypanou stropní deskou.

Stavební jáma Troja – stavba 0079

Na staveništi Troja byla v roce 2007 provedena stavební jáma, přes kterou až do roku 2011 probíhaly ražby a následně do konce roku 2012 definitivní ostění ražených tunelů. Jáma hloubky 20,3 m se nachází v těsné blízkosti Vltavy se dnem 14,4 m pod její hladinou. Z tohoto důvodu byla jáma zajištěna železobetonovými podzemními stěnami, které byly v horní úrovni součástí protipovodňových ochranných valů (obr. 2).

Ražené tunely – stavba 0079

Při výstavbě ražených částí stavby 0079 stojí za připomenutí soubor vzduchotechnických objektů (strojovna, kanály, šachty), které tvoří komplex zajišťující provozní a požární větrání přílehlé části tunelů.

Strojovna vzduchotechniky s plochou výrubu cca 300 m² patří určitě k odvážnému tunelovému návrhu. Výstavba tohoto raženého objektu přes určité provozní problémy proběhla v předpokládaném režimu. Pozornost si zaslouží průniky a křížení vzduchotechnických kanálů s třípruhovými tunely. Jsou to mimořádně zdařilé technické návrhy potvrzené realizací (obr. 3).

Při ražbách na části stavby 0079 v oblasti Letné se věnovala velká pozornost problematice nadzemní zástavby dotčené ražbami dopravních a vzduchotechnických tunelů. Tato činnost byla zahájena v roce 2007 a ukončena v roce 2014. Bylo monitorováno cca 150 objektů, úpravy byly provedeny na zhruba 100 objektech. Tato zdlouhavá činnost závisela na vzájemné spolupráci několika subjektů (projektant, mandátář, vlastník objektu, zhotovitel průzkumných a sanačních prací a příslušný stavební úřad). Lze konstatovat, že během ražby nedošlo k zásadnímu porušení dotčených objektů, předpokládané poklesy prognózované projektantem nebyly dosaženy. Součástí zajištění objektů byly přístřešky na chodnících,

cut-and-cover tunnels built in braced construction trenches and cover-and-cut tunnels (diaphragm walls, roof decks carried out on them and backfilled in advance of the excavation and excavation under the roof deck).

Troja construction pit – construction lot 0079

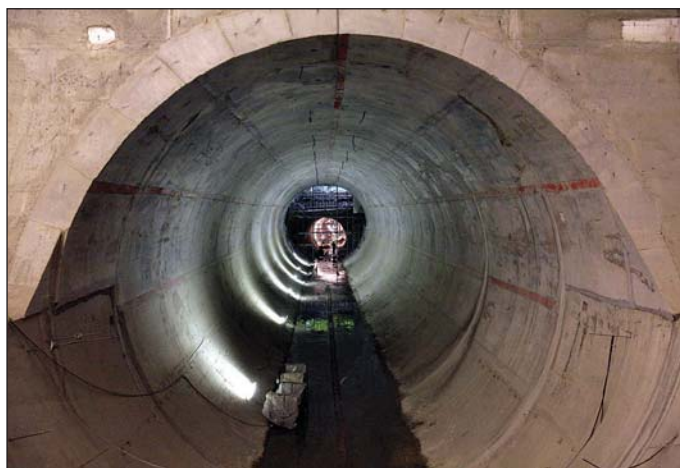
A construction pit was carried out in the Troja construction site in 2007, through which the excavation operations passed through until 2011 and, subsequently, the final lining of tunnels were constructed until the end of 2012. The 20.3m deep pit is located in the close vicinity of the Vltava River; its bottom is at the depth of 14.4m under the river surface. For that reason the pit was braced by reinforced concrete diaphragm walls. The upper parts of the walls became parts of flood protection dams (see Fig. 2).

Mined tunnels – construction lot 0079

The set of ventilation structures (a ventilation plant cavern, galleries, a shaft) forming a complex securing the operating ventilation and fire ventilation of adjacent parts of the tunnels are worth reminding when the mined parts of construction lot 0079 are being mentioned.

The ventilation plant cavern with the excavated cross-sectional area of ca 300m² is certainly one of the parts of the bold tunnel design. Despite certain operating problems, the construction of this mined structure was carried out following the assumed regime. The intersections and crossings of ventilation galleries with the three-lane tunnels deserve attention. Technical proposals for them are exceptionally successful and the success was confirmed by the realisation (see Fig. 3).

When the underground excavation was being carried out in the Letná area of construction lot 0079, great attention was paid to the problems of existing buildings affected by driving the transport-related and ventilation tunnels. This activity commenced in 2007 and was finished in 2014. About 150 building structures were subjected to monitoring and some modifications were carried out in 100 of them. This lengthy operation depended on the collaboration of several subjects (the designer, the mandatary, the building owner, the survey and rehabilitation contractor and the respective building authority). It is possible to state that no critical damage was caused to any of the affected buildings; the expected settlement values predicted by the designer were not reached. Sheds covering the pavements and protecting pedestrian traffic were parts of the system securing the buildings. The greatest repairs were carried out in the buildings the technical condition of



Obr. 3 Definitivní ostění vzduchotechnického kanálu s pohledem na STT – rok 2011

Fig. 3 Final lining of the ventilation duct with a view of the NTT – 2011



Obr. 4 Stavení jáma Letná – rok 2009

Fig. 4 Letná construction pit – 2009

archiv / archives Metrostav a. s.

kteří sloužily jako ochrana pěšího provozu v průběhu výstavby tunelů. Největší opravy byly prováděny na objektech, u kterých nebyl uspokojivý technický stav už před zahájením razířských prací. Velká pozornost byla věnována stavu a opravám komínových průduchů jednotlivých objektů z obavy vzniku možných trhlin ve zděných komínech.

Stavební jáma Letná – stavba 0079

Dalším významným stavenišťem v rámci tunelového komplexu Blanka je stavební jáma Letná. Je to největší stavební jáma na trase tunelu s výkopem 447 tisíc m³. Jedná se zřejmě o největší stavební jámu na území hlavního města Prahy v její historii.

Z této jámy probíhala výstavba obou typů hloubených tunelů, uskutečnila se zde dále výstavba vjezdových a výjezdových ramp a protiražba třípruhových tunelů. U portálové stěny mezi tubusy tunelu se nachází technologické centrum TGC3.

Po dokončení hloubených tunelů proběhla výstavba nosných konstrukcí podzemních garáží s 863 parkovacími místy. Při výstavbě hloubených tunelů v oblasti Letné a Hradčanské bylo nutné respektovat podmínky dopravy v této oblasti definované dotčenými orgány města. Kolem staveniště byla vybudovaná provizorní objízdná komunikace pro automobilový provoz (obr. 4).

Stavební jáma Hradčanská – stavba 0080

Na stavbu 0079 navazuje v křižovatce Špejchar stavba 0080 Hradčanská, která končí v křižovatce Prašný most. Trasa tunelu kopíruje komunikaci ulice Milady Horákové.

Před samotnou realizací stavební jámy byla zřízena náhradní objízdná komunikace přes ulici Na Valech. Tramvajová doprava byla v některých fázích výstavby úplně vyloučena.

which was unsatisfactory already before the commencement of the tunnelling operations. Great attention was paid to the condition and repairs of chimney flues in individual buildings because of fears of the development of potential cracks in masonry chimneys.

Letná construction pit – construction lot 0079

Another construction site important in terms of the Blanka complex of tunnels is the Letná construction pit. With the excavated volume of 447 thousand m³, it is the largest construction pit on the tunnel route. It is probably the largest construction pit in the area of the capital city of Prague in its history.

Both the cut-and-cover and cover-and-cut tunnels were constructed from this pit. The construction of both the entrance and exit ramps was carried out in this pit and the triple-lane tunnels were driven from it. Technological centre TGC3 is located at the portal wall, between the tunnel tubes.

When the cut-and-cover tunnels had been completed, the structure of an underground parking garages with 863 parking spaces was built in the pit. It was necessary during the course of the construction of cut-and-cover and cover-and-cut tunnels in the area of Letná and Hradčanská Street to respect the conditions of traffic in this area, which were defined by the affected municipal authorities. A temporary road for automobiles bypassing the construction site had to be carried out (see Fig. 4).

Hradčanská construction pit – construction lot 0080

Construction lot 0080, which ends at the Prašný Most intersection, is connected to construction lot 0079 at the Špejchar intersection. The tunnel route copies Milady Horákové Street.

A substitute bypass road along Na Valech Street was established prior to the excavation of the construction pit. Tramway traffic was completely excluded during some construction phases.

Stavební jáma byla zajištěna po úroveň budoucího stropu tunelů pomocí kotvených záporových stěn. Stěny tunelů byly provedeny z podzemních železobetonových stěn, na kterých byl vybetonován strop tunelů. Po dokončení stropů tunelů byla stavební jáma zasypána, dokončeny definitivní povrchy a obnovena doprava.

Následně probíhaly práce na čelním odtěžování zeminy pod definitivním stropem a provádění rozpěrné základové desky tunelů.

Součástí stavby je i vjezdová a výjezdová rampa u křižovatky Prašný most.

V místě ulice Pod kašany je křížení tunelu s trasou a vestibulem metra. V rámci výstavby hloubených tunelů musela být ubourána část vestibulu metra. Po dokončení tunelu byl vestibul obnoven včetně nového podchodu pod železniční trať (obr. 5).

Stavební jáma Prašný most – stavba 9515

Jáma Prašný most se nacházela v místě významného dopravního uzlu ulic Milady Horákové a Svatovítská. V průběhu realizace tunelů musela být několikrát přemístěna tramvajová trať a provedeny provizorní komunikace.

Před započatím výkopových prací byly provedeny přeložky inženýrských sítí. V předstihu došlo k zahájení realizace nového mostu na ulici Svatovítská nad železniční tratí. Došlo k rozšíření a prodloužení mostu z důvodu plánované realizace rychlodráhy Praha – Kladno. Na technické řešení mostu byly kladeny vysoké požadavky památkové péče.

Součástí s výkopovými pracemi byl prováděn záchranný archeologický průzkum. V části jámy Prašný most bylo nalezeno pohřebiště z 9. a 10. století s přibližně 100 hroby. Hroby byly zdokumentovány a přemístěny. Po dobu archeologického výzkumu byly přerušeny práce v části jámy.

Stavební jáma byla zajištěna na západní straně v místě portálu kotvenou pilotovou stěnou a po stranách tunelu záporovými stěnami.

Z důvodu nepříznivé geologie na ražených částech tunelů bylo rozhodnuto o zahloubení tunelových tubusů o cca 6 m. Tento posun tunelů měl přímý dopad do stavebních jam Myslbekova, Prašný most a na stavbu 0080.

Ve stavební jámě byly realizované po částech hloubené tunely a byla zde prováděna protiražba na STT. V místě ramp



Obr. 6 Jáma Prašný most – rok 2011
Fig. 6 Prašný Most construction pit – 2011

archiv / archives Metrostav a. s.



archiv / archives Metrostav a. s.

Obr. 5 Hloubené tunely Hradčanská – rok 2009
Fig. 5 Hradčanská cover-and-cut tunnels – 2009

The construction pit was braced with anchored soldier beam and lagging walls up to the level of the future roof deck of the tunnel. The concrete roofs of the tunnels were cast on the reinforced concrete diaphragm walls forming the tunnel walls. When the tunnel roof decks had been finished, the construction pit was backfilled, the final terrain finishes were completed and traffic was reinstated.

The excavation under the final roof deck and the construction of the bracing foundation slab of the tunnels followed.

The entrance and exit ramps at the Prašný Most intersection are also parts of the construction lot.

In the location of Pod kašany Street, the tunnel crosses with the metro route and a metro concourse. Part of the metro concourse had to be demolished within the framework of the construction of the cover-and-cut tunnels. After the completion of the tunnel, the concourse was renewed, including a new pedestrian subway under the existing rail track (see Fig. 5).

Prašný most construction pit – construction lot 9515

The Prašný Most construction pit was found in the location of an important traffic node formed by Milady Horákové and Svatovítská Streets. The tramway track had to be several times relocated and temporary roads had to be provided several times during the course of the work on the tunnels.

Utility networks were relocated before the excavation commenced. The construction of a new bridge over the rail track at Svatovítská Street started in advance. The bridge width and length were extended with respect to the planned realisation of the Prague – Kladno express rail link. The technical solution to the bridge had to cope with high requirements of the Care of Historical Monuments.



archiv / archives Metrostav a. s.

Obr. 7 Jáma Prašný most – protiražba STT (Brusnice) – rok 2011
Fig. 7 Prašný Most construction pit – NTT counter-heading (Brusnice) – 2011



Obr. 8 Jáma Myslbezkova – rok 2011
Fig. 8 Myslbezkova construction pit – 2011

archív / archives Metrostav a. s.

je mezi tunely zřízeno technologické centrum TGC2. Nad rozpletem tunelu jsou provedeny třípodlažní podzemní garáže Prašný most. Projektovaná kapacita garáží je asi 298 míst. Do garáží je vjezd a výjezd po spirálovité rampě z ulice Milady Horákové (obr. 6 a 7).

Ražené tunely – stavba 9515

Ražený úsek na stavbě 9515 je ohraničen stavební jámou Prašný most a stavební jámou Myslbezkova. Jedná se o dva třípruhové tunely, které byly raženy pomocí Nové rakouské tunelovací metody. Na základě dodatečného geologického průzkumu bylo nutno v rámci vypracování realizační dokumentace navrhnout jiný postup ražby obou tunelů oproti zadávací dokumentaci. Ražba probíhala z větší části s vodorovným členěním, v části tunelu se používalo svislé členění kaloty a nejsložitější úsek ražby STT u jámy Prašný most byl rozčleněn na 7 dílčích výrubů.

V předstihu byly provedeny tryskové injektáže v místech průchodu tunelů pod barokním opevněním hradeb na jámě Prašný most.

V rámci ražené části stavby 9515 byl proveden vzduchotechnický kanál a větrací šachta, která navazuje na výdechový objekt stavby 9515.

Stavební jáma Myslbezkova – stavba 9515

Jáma Myslbezkova tvoří rozhraní staveb 9515 a 0065 (obr. 8). Z jámy Myslbezkova byly realizovány ražby třípruhových tunelů směrem na portál jámy Prašný most, vzduchotechnický kanál výdechového objektu Nad Octárnou a technologické centrum TGC1. Z jámy byl veškerý materiál odvážen po rampě, která se nacházela nad jižním tunelem stavby 0065.

Stavební jáma Myslbezkova byla zajištěna po obvodě kotvenými pilotovými a záporovými stěnami. Výška portálové stěny zde dosahovala cca 35 m. Kotevní systém portálové západní stěny byl doplněn o rozpěry u severní části jámy. Stěny jámy byly v průběhu stavebních prací intenzivně monitorovány s ohledem na složitost konstrukce a blízkost inženýrských sítí.

Stavební jáma sloužila pro montáž a demontáž formy, která byla použita pro betonáž sekundárního ostění tunelů.

Součástí stavby 9515 je i výdechový objekt, který vyústí v křížení ulic Nad Octárnou a U Laboratoře.

VÝZNAMNÉ ČASOVÉ ÚDAJE

V této části příspěvku jsou shromážděny údaje o zahájení a ukončení významných etap tunelového komplexu v období od roku 2007 až do roku 2014.

The rescue archaeological survey was conducted simultaneously with the excavation. A burial site from the 9th and 10th centuries with approximately 100 graves was found in a part of the Prašný Most construction pit. The graves were documented and relocated. The work in this part of the pit was interrupted during the archaeological survey.

The construction pit was braced on the western side, in the location of the portal, by an anchored pile wall and with soldier beam and lagging walls on the tunnel sides.

Because of the unfavourable geology at the mined parts of the tunnels, a decision was made that the tunnel tubes depth would be increased by ca 6m. This shifting of the tunnels directly affected the Myslbezkova and Prašný Most construction pits and construction lot 0080.

Cut-and-cover tunnels were carried out in parts in the construction pit and the counter-heading to the NTT was carried out from it. Technological centre TGC2 is established between the tunnel tubes in the location of the ramps. The Prašný Most three-floor parking garages are carried out above the tunnel bifurcation. The garages are designed for the capacity of 298 parking spaces. The entry to and exit from the garages is along a spiral ramp from Milady Horákové Street (Figures 6 and 7).

Mined tunnels – construction lot 9515

The mined section in construction lot 9515 is delimited by the Prašný Most construction pit and the Myslbezkova construction pit. The section comprises two triple-lane tunnels driven using the New Austrian Tunnelling Method. It was necessary on the basis of a supplementary geological survey to propose, within the framework of the work on the detailed design, another procedure for the excavation of both tunnels, differing from the tender design. The so-called horizontal excavation sequence (top heading, bench and invert) was applied to the major part of the tunnel; the vertical sequence (side drifts and a central pillar) was applied to a part of the tunnel; the most complicated section of the NTT at the Prašný Most construction pit was divided into 7 partial headings.

Jet grouting in the locations of the passage of tunnels under the Baroque fortification at the Prašný Most construction pit was carried out in advance.

A ventilation duct and the ventilation shaft connecting to the exhaust structure of construction lot 9515 were carried out within the framework of the mined part of construction lot 9515.

Myslbezkova construction pit – construction lot 9515

The Myslbezkova construction pit forms an interface between construction lots 9515 and 0065 (see Fig. 8). The Myslbezkova construction pit was the starting point for driving the triple-lane tunnels toward the portal of the Prašný Most pit, the ventilation duct of the exhaust structure in Nad Octárnou Street and the construction of technological centre TGC1. All materials were transported from the pit along a ramp located above the southern tunnel tube of construction lot 0065.

The Myslbezkova construction pit was braced around the perimeter with anchored pile walls and soldier beam and lagging walls. The portal wall height reached ca 35m. The anchoring system of the western portal wall was supplemented by bracing beams in the northern part of the construction pit. The walls of the pit were intensely monitored during the construction operations with respect to the complexity of the structure and the vicinity of utility networks.

The construction pit was used during the assembly and disassembly of the formwork for casting the secondary tunnel lining.

The exhaust structure ending at the intersection between Nad Octárnou and U Laboratoře Streets is also part of construction lot 9515.

Rok 2007

- 15. 2. – stavba 0079, zahájení prací na zajištění stavební jámy Troja;
- 3. 7. – stavba 0079, zahájení prací na zajištění stavební jámy Letná;
- 4. 7. – stavba 0079, zahájení ražeb dvoupruhových tunelů severní tunelová trouba (dále „STT“) z Troje;
- 8. 8. – stavba 0079, zahájení ražeb dvoupruhových tunelů jižní tunelová trouba (dále „JTT“) z Troje.

Rok 2008

- 1. 2. – stavba 0080, zahájení předstihových prací v prostoru stavební jámy Hradčanská;
- 20. 5. – stavba 0079, mimořádná událost v STT km 6,12481, propad tunelu ve Stromovce;
- 4. 7. – stavba 0079, pokračování ražeb po mimořádné události;
- 8. 7. – stavba 9515, předání staveniště Prašný most – kácení zeleně;
- 1. 8. – stavba 0080, zahájení prací na přeložkách inženýrských sítí v prostoru stavební jámy Hradčanská;
- 12. 10. – stavba 0079, mimořádná událost v STT km 6,053, propad tunelu ve Stromovce;
- 30. 11. – stavba 9515, předání staveniště Myslbekova – kácení zeleně;
- 11. 12. – stavba 0079, pokračování ražeb po mimořádné události;
- 17. 12. – stavba 9515, předání staveniště Myslbekova – zajištění stavební jámy.

Rok 2009

- 1. 6. – stavba 9515, předání staveniště Prašný most – zajištění stavební jámy;
- 19. 7. – stavba 0079, zahájení protiražby třípruhových tunelů z Letné STT;
- 21. 8. – stavba 0079, zahájení protiražby třípruhových tunelů z Letné JTT;
- 1. 9. – stavba 9515, zahájení ražby STT z portálu Myslbekova.

Rok 2010

- 8. 1. – stavba 9515, zahájení ražby JTT z portálu Myslbekova;
- 13. 1. – stavba 0079, zahájení ražby technologického centra TGC 4;
- 10. 2. – stavba 0079, zahájení ražby strojovny vzducho-techniky;
- 21. 2. – stavba 0079, ukončení ražeb z portálu Letná;
- 6. 7. – stavba 9515, mimořádná událost v STT, propad tunelu na pozemku Ministerstva kultury;
- 10. 7. – stavba 0079, zahájení prací na Trojském mostě;
- 31. 8. – stavba 0080, konec výluky tramvají Hradčanská.

Rok 2011

- 31. 1. – stavba 0079, ukončení ražeb z portálu Troja;
- 22. 4. – stavba 9515, dokončení ražby STT z portálu Prašný most;
- 1. 6. – stavba 0080, zprovoznění jižní vozovky Milady Horákové;
- 31. 7. – stavba 0079, dokončení nosné konstrukce hl. tunelů Troja;
- 15. 9. – stavba 9515, dokončení ražeb JTT.

IMPORTANT TIME DATA

This part of the paper contains data on the commencement and completion of important stages of the complex of tunnels during the 2007 to 2014 period.

2007

- 15/02 – construction lot 0079, commencement of work on bracing the Troja construction pit;
- 03/07 – construction lot 0079, commencement of work on bracing the Letná construction pit;
- 04/07 – construction lot 0079, commencement of driving double-lane tunnels – the northern tunnel tube (NTT) – from Troja;
- 08/08 – construction lot 0079, commencement of driving double-lane tunnels – the southern tunnel tube (STT) – from Troja.

2008

- 01/02 – construction lot 0080, commencement of advanced works in the space of the Hradčanská construction pit;
- 20/05 – construction lot 0079, an extraordinary event in the NTT, chainage km 6.12481, caving of tunnel in Stromovka Park;
- 04/07 – construction lot 0079, continuation of driving tunnels after the extraordinary event;
- 08/07 – construction lot 9515, Prašný Most construction site handover – tree felling;
- 01/08 – construction lot 0080, commencement of work on utility network relocations from the area of the Hradčanská construction pit;
- 12/10 – construction lot 0079, an extraordinary event in the NTT, chainage km 6.053 – tunnel caving in Stromovka Park;
- 30/11 – construction lot 9515, Myslbekova construction site handover – tree felling;
- 11/12 – construction lot 0079, continuation of driving tunnels after the extraordinary event;
- 17/12 – construction lot 9515, Myslbekova construction site handover – construction pit bracing.

2009

- 01/06 – construction lot 9515, Prašný Most construction site handover – construction pit bracing;
- 19/07 – construction lot 0079, commencement of counter-heading of NTT triple-lane tunnels from Letná;
- 21/08 – construction lot 0079, commencement of counter-heading of STT triple-lane tunnels from Letná;
- 01/09 – construction lot 9515, commencement of driving the NTT from Myslbekova portal.

2010

- 08/01 – construction lot 9515, commencement of driving the STT from Myslbekova portal;
- 13/01 – construction lot 0079, commencement of excavation for TGC 4 technological centre;
- 10/02 – construction lot 0079, commencement of excavation for the ventilation plant cavern;
- 21. 2. – construction lot 0079, completion of tunnelling from Letná portal;
- 06/07 – construction lot 9515, an extraordinary event in NTT, tunnel caving in the grounds of the Ministry of Culture;
- 10/07 – construction lot 0079, commencement of work on the Troja Bridge;
- 31/08 – construction lot 0080, end of closing of tram traffic in Hradčanská Street.

2011

- 31/01 – construction lot 0079, end of driving tunnels from Troja portal;
- 22/04 – construction lot 9515, end of driving NTT from Prašný Most portal;
- 01/06 – construction lot 0080, opening of the southern roadway in Milady Horákové Street;

Rok 2012

- 2. 6. – stavba 0079, zahájení povrchových prací na Letenském náměstí;
- 12. 8. – stavba 9515, dokončení nosné konstrukce hl. tunelů Prašný most;
- 7. 10. – stavba 0079, ukončení prací na Letenském náměstí.

Rok 2013

- 16. 7. – zahájení pokládky asfaltových vozovek;
- 30. 9. – uvedení definitivní tramvajové trati na Prašném mostě do provozu;
- 23. 11. – ukončení pokládky asfaltových vozovek;
- 5. 12. – dokončení konstrukcí výdechového objektu Nad Královskou oborou;
- 7. 12. – zastavení prací na tunelovém komplexu.

Rok 2014

- 24. 1. – rozhodčí soud rozhodl o pokračování prací;
- 25. 9. – nácvik integrovaného záchranného systému v tunelu – simulace nehody autobusu;
- 27. 9. – vrácení Letenské pláně Pražanům;
- 29. 9. – dokončení stavebních prací podle rozhodnutí soudu;
- 6. 10. – otevření Trojského mostu.

Rok 2015

V současné době probíhají dokončovací práce na podzemních garážích Letná a Prašný most.
Dále se dokončují úpravy povrchů na protipovodňových opatřeních v Troji – stavba 0079.
Provádí se též úpravy terénu pro jižní park na Prašném mostě – stavba 9515.

ZÁKLADNÍ ÚDAJE JEDNOTLIVÝCH STAVEB*Tab. 1 Přehled délek jednotlivých úseků*

Stavba ev. č. 0079 Špejchar – Pelc-Tyrolka	
Povrchová část Troja	882 m
Hloubené tunely Troja	580 m
Ražené tunely	2211 m
Hloubené tunely Letná	647 m
Celková délka stavby 0079	4320 m
Větrací šachty Nad Královskou oborou – hloubka	39 m
Stavba ev. č. 0080 Prašný most – Špejchar	
Hloubené tunely milánský typ – celková délka	658 m
Stavba ev. č. 9515 Myslbekova – Prašný most	
Hloubené tunely Prašný most	323 m
Ražené tunely	535 m
Hloubené tunely Myslbekova	49 m
Celková délka stavby 9515	907 m
Větrací šachta Octárna – hloubka	42 m
Celková délka trasy	5885 m

HLAVNÍ OBJEMY VYKONANÝCH PRACÍ

V tabulkách jsou uvedené významné položky stavebních prací z průběhu realizace. V tabulce 2 jsou rozděleny podle použité technologie, v tabulce 3 podle jednotlivých staveb.

DÍLČÍ ZKUŠENOSTI Z VÝSTAVBY

Na tunelovém komplexu Blanka byla na hloubených tunelech realizovaných v otevřené stavební jámě ve větším rozsahu

- 31/07 – construction lot 0079, completion of cut-and-cover Troja tunnel structures ;
- 15/09 – construction lot 9515, completion of driving the STT.

2012

- 02/06 – construction lot 0079, commencement of work on the surface of Letná Square;
- 12/08 – construction lot 9515, completion of Prašný Most cut-and-cover tunnel structures;
- 07/10 – construction lot 0079, completion of work in Letná Square.

2013

- 16/07 – commencement of laying asphalt roadways;
- 30/09 – bringing the final tram track at Prašný Most into service;
- 23/11 – completion of laying asphalt roadways;
- 05/12 – completion of the structures of the Nad Královskou Oborou exhaust structure;
- 07/12 – cessation of the work on the complex of tunnels.

2014

- 24/01 – the Court of Arbitration decided that the works had to continue;
- 25/09 – the Integrated Rescue System exercise in the tunnel – simulation of a bus accident;
- 27/09. – the Letná Plain returned to Prague citizens;
- 29/09 – completion of construction work in compliance with the court decision;
- 06/10 – Troja Bridge opened to traffic.

2015

At the moment, the finishing work on the Letná and Prašný Most underground parking garages is in progress.
Further on, terrain finishes on flood prevention structures in Troja are being completed – construction lot 0079.
Terrain finishes for the southern park at Prašný Most are also in progress – construction lot 9515.

BASIC DATA ON INDIVIDUAL STRUCTURES*Table 1 Overview of the lengths of individual sections*

Construction lot Reg. No. 0079 Špejchar – Pelc-Tyrolka	
Troja at-grade part	882m
Troja cut-and-cover tunnels	580m
Mined tunnels	2,211m
Letná cut-and-cover and cover-and-cut tunnels	647m
Total length of construction lot 0079	4,320m
Nad Královskou oborou ventilation shafts - depth	39m
Construction lot Reg. No. 0080 Prašný Most – Špejchar	
Milan type cover-and-cut tunnels – total length	658m
Construction lot Reg. No. 9515 Myslbekova – Prašný Most	
Prašný most cut-and-cover tunnels	32m
Mined tunnels	535m
Myslbekova cut-and-cover tunnels	49m
Total length of construction lot 9515	907m
Octárna ventilation shaft – depth	42m
Total route length	5,885m

MAIN VOLUMES OF COMPLETED WORK

The tables contain important items of completed construction work. The work is divided according to the technology used (Table 2) and according to individual construction lots (Table 3).

Tab. 2 Hlavní objemy stavebních prací podle použité technologie
Table 2 Main volumes of construction work according to the technology used

Ukazatel Indicator	Vytěžená hornina a zemina [v tis. m ³] Excavated rock and soil [thousand m ³]	Hydroizolace [v tis. m ²] Waterproofing [thousand m ²]	Konstrukční betony [v tis. m ³] Structural concrete [thousand m ³]	Konstrukční výztuž [t] Structural reinforcement [t]	Podzemní stěny tl. 0,8m [v tis. m ³] Diaphragm walls 0.8m thick [thousand m ³]
Ražené tunely a jejich objekty Mined tunnels and their structures	922,7 922.7	291,9 291.9	225,2 225.2	15 775,0 15,775.0	- -
Hloubené tunely – realizace v otevřené jámě Cut-and-cover tunnels	1 170,1 1,170.1	172,2 172.2	229,0 229.0	27 272,4 27,272.4	- -
Hloubené tunely – realizace metodou čelního odtěžování Cover-and-cut tunnels	518,7 518.7	- -	83,0 83.0	15 439,0 15,439.0	49,5 49.5
Podzemní garáže Underground parking garages	- -	45,4 45.4	34,6 34.6	4 236,8 4,236.8	- -
Celkem Total	2 611,5 2,611.5	509,6 509.6	571,8 571.8	62 723,2 62,723.2	49,5 49.5

hu použita bentonitová hydroizolace. Bentonitová rohož absorbuje okolní zemní vlhkost a zároveň dochází k nabobtnání hydroizolace. Tím vzniká extrémně těsná vrstva, která spolehlivě ochrání stavební konstrukci. Velkou výhodou bentonitové hydroizolace je jednoduchá montáž oproti asfaltovým pásům a PVC hydroizolacím. Pokládka

PARTIAL EXPERIENCE FROM THE CONSTRUCTION PROCESS

A bentonite waterproofing system was applied to a greater extent at the Blanka complex of tunnels project. A bentonite mat absorbs the surrounding ground dampness and, at the same time, it swells. This process gives rise to an extremely waterproof layer, which reliably protects the structure. The great advantage of the bentonite waterproofing system lies in simple installation, in contrast with asphalt sheets and PVC waterproofing. On the other hand, the application of this waterproofing system requires strict compliance with standard procedures, first of all when joining various expansion blocks in the area of the foundation slab. It can be stated that this waterproofing system acquitted itself and it is possible to count with it even for future structures of this type.

The application of double-sided formwork to the execution of reinforced concrete wall structures at the Blanka complex of tunnels acquitted itself well. The objective of this application was to accelerate the construction process, to provide simpler joining and details and to allow checking whether the waterproofing layer is not damaged. In our experience, single-sided formwork should be designed quite exceptionally because of the fact that it does not guarantee the smooth application of waterproofing to vertical walls and, first of all, the



archív / archives Metrostav a. s.

Obr. 9 Den otevřených dveří – rok 2014
Fig. 9 Doors Open Day – 2014

Tab. 3 Hlavní objemy stavebních prací podle jednotlivých staveb
Table 3 Main volumes of construction work according to individual construction lots

Ukazatel Indicator	Vytěžená hornina a zemina [v tis. m ³] Excavated rock and soil [thousand m ³]	Hydroizolace [v tis. m ²] Waterproofing [thousand m ²]	Konstrukční betony [v tis. m ³] Structural concrete [thousand m ³]	Konstrukční výztuž [t] Structural reinforcement [t]	Podzemní stěny tl. 0,8m [v tis. m ³] Diaphragm walls 0.8m thick [thousand m ³]
Stavba ev. č. 9515 Myslbekova – Prašný most Construction lot Reg. No. 9515 Myslbekova	671,7 671.7	124,4 124.4	122,1 122.1	13 588,7 13,588.7	- -
Stavba ev. č. 0080 Prašný most – Špejchar Construction lot Reg. No. 0080 Prašný Most – Špejchar	339,3 339.3	- -	53,4 53.4	10 945,0 10,945.0	38,2 38.2
Stavba ev. č. 0079 Špejchar – Pelc-Týrolka (ŠPELC) Construction lot Reg. No. 0079 Špejchar – Pelc-Týrolka (ŠPELC)	1 600,5 1,600.5	339,8 339.8	361,8 361.8	33 952,7 33,952.7	11,4 11.4
Podzemní garáže – Letná Underground parking garages – Letná	- -	31,6 31.6	20,8 20.8	2 184,0 2,184.0	- -
Podzemní garáže – Prašný most Underground parking garages – Prašný Most	- -	13,8 13.8	13,7 13.7	2 052,8 2,052.8	- -
Celkem Total	2 611,5 2,611.5	509,6 509.6	571,8 571.8	62 723,2 62,723.2	49,5 49.5

Poznámka: na ražených tunelech byla použita PVC hydroizolace. U hloubených tunelů a garáží realizovaných v otevřené jámě byla použita bentonitová hydroizolace. U hloubených tunelů realizovaných metodou čelního odtěžování byly použity vodonepropustné betony bez hydroizolace.

Note: PVC waterproofing membrane was applied to mined tunnels. Bentonite waterproofing was applied to cut-and-cover tunnels and parking garages constructed in an open pit. Water retaining concrete without waterproofing was used for cover-and-cut tunnels.

této hydroizolace vyžaduje ale přísné dodržování technologických postupů hlavně při napojování různých dilatačních dílů v oblasti základové desky. Lze konstatovat, že tento druh hydroizolace se osvědčil a je možno s ním počítat na budoucí konstrukce tohoto typu.

Na stavbě tunelu Blanka se ukázalo jako vhodné použití oboustranného bednění při provádění železobetonových konstrukcí stěn. Důvodem bylo urychlení výstavby, jednodušší napojování, detaily a kontrola neporušenosti hydroizolace. Jednostranné bednění by se podle našich zkušeností mělo navrhnout zcela výjimečně, neboť nezaručuje bezproblémové

quality of the execution of details of construction joints. It is even impossible to agree with the assertion that single-sided formwork reduces the cost of the construction.

The cover-and-cut system using diaphragm walls and top-down process of construction was applied to an about 1km long section of the tunnel. This construction type allowed for the quick return of surface traffic in the area of the Hradčanská construction pit. It is necessary when this system is used to solve, among other problems, the finish of the surface of diaphragm walls after the ground under the roof deck is removed, the water retaining capacity of the concrete used and details

provádění hydroizolace na svislých stěnách zejména detailu pracovních spár. Není možno souhlasit ani s tvrzením, že jednostranné bednění zlevňuje stavbu.

Na stavbě tunelu byly v délce cca 1 km provedeny hloubené tunely s použitím podzemních stěn a čelního odtěžování pod stropní deskou. Tento typ konstrukce umožnil rychle navrácení povrchové dopravy v prostoru jámy Hradčanské. Při provádění tohoto typu hloubených tunelů je třeba řešit mimo jiné úpravu povrchu podzemních stěn po odtěžení zeminy, vodonepropustnost použitých betonů a detaily po obvodu konstrukce včetně napojení základové desky na podzemní stěny. Doporučuje se používat tento druh konstrukce v místech s omezeným šířkovým uspořádáním a v místech, kde je hloubený tunel hluboko pod povrchem.

ZÁVĚR

Závěrem lze konstatovat, že navzdory všem kritickým hlásům, které tuto stavbu provázejí, se podařilo vybudovat významnou a technicky zajímavou část městského okruhu.

Po uvedení stavby do provozu určitě větší část obyvatel a návštěvníků Prahy tuto stavbu náležitě ocení, což dokládaly tisíce zájemců během výstavby na dnech otevřených dveří (obr. 9). Občané přicházeli během výstavby do informačního centra na Letné, kde se zajímali o průběh výstavby a přáli stavbě co nejrychlejší uvedení do provozu.

Stavba tunelů přinese městu další významnou kapacitní komunikaci, kterých je v Praze stále značný nedostatek. Zkldíni povrchové lokality od severního portálu Strahovského tunelu přes Prašný most až ke křižovatce Špejchar. Dále uleví obyvatelům v oblasti Letenského náměstí a Veletržní ulice, kde dojde k poklesu intenzivní dopravy.

Je třeba připomenout, že díky tunelu Blanka byl vybudován nový park v ulici Myslbekova a připraven most Svatovítská pro případnou výstavbu železničního spojení na letiště Václava Havla. Byla provedena rekonstrukce ulice Milady Horákové, do které jsou napojeny podzemní garáže Letná a Prašný most.

Součástí stavby je též vybudování protipovodňových opatření v Troji, výstavba nového Trojského mostu a demontáž provizorního tramvajového mostu.

Na závěr je třeba popřát stavbě co nejdřívejší uvedení do provozu, aby potvrdila svoji oprávněnost a vedla k zamyšlení jak dále v Praze řešit automobilovou dopravu.

Zájemci o problematiku si mohou vyhledat další články o tunelovém komplexu Blanka, které vyšly v minulosti v časopise Tunel, na

http://www.ita-aites.cz/cz/casopis/obsahy_rocniku/.

*Ing. JIŘÍ VALEŠ, vales@metrostav.cz,
Ing. STANISLAV FALHAR, falhar@metrostav.cz,
Ing. EVA KŮRKOVÁ, eva.kurkova@metrostav.cz,
METROSTAV a.s.*

Recenzovali: Ing. Jiří Růžička, Ing. Jan Korejčík

around the circumference of the structure, including the connection of the foundation slab to the diaphragm walls. It is recommended that this construction type is used in locations where the width arrangement is restrained and in locations where the cut-and-cover tunnel would be too deep under the terrain surface.

CONCLUSION

In the conclusion it is possible to state that an important and technically interesting part of the City Circle Road has been successfully concluded despite all critical voices accompanying this project.

When the construction is brought into service, it will be certainly properly appreciated by the majority of Prague population and visitors. It was already possible to see when thousands of visitors attended the construction sites on the occasions of the Doors Open Day events (see Fig. 9). Citizens came to the information centre in Letná during the course of the construction and were interested in the construction process. They wished the project to be brought to service as quickly as possible.

The construction of the tunnels will bring another important high-capacity road to the city. Such roads are still very few in Prague. It will ease the traffic flow in surface localities from the Strahov tunnel portal via Prašný Most up to the Špejchar intersection. In addition, it will disburden residents in the areas of Letná Square and Veletržní Street, where the traffic volume will be reduced.

It is necessary to remember that, owing to the Blanka complex of tunnels, a new park was developed in Myslbekova Street and the Svatovítská Bridge was prepared for the contingent development of a railway link to Václav Havel airport. Milady Horákové Street, to which the Letná and Prašný Most underground parking garages are connected, was reconstructed.

The project in addition comprised the development of flood prevention barriers in Troja, the construction of the new Troja Bridge and the disassembly of the previous temporary tramway bridge.

To conclude, it is necessary to wish the project to be brought into service as soon as possible to be able to prove its justifiability and to lead to the contemplation of how automobile traffic in Prague is to be further solved.

People interested in the problems can find other papers on the Blanka complex of tunnels published in the past in both languages in Tunel journal at

http://www.ita-aites.cz/cz/casopis/obsahy_rocniku/.

*Ing. JIŘÍ VALEŠ, vales@metrostav.cz,
Ing. STANISLAV FALHAR, falhar@metrostav.cz,
Ing. EVA KŮRKOVÁ, eva.kurkova@metrostav.cz
METROSTAV a.s.*

LITERATURA / REFERENCES

www.tunelblanka.cz
Archiv Metrostav a.s.

ÚSLAVSKÝ KANALIZAČNÍ SBĚRAČ V PLZNI – 2. ETAPA ÚSLAVA INTERCEPTOR SEWER IN PILSEN – STAGE 2

TOMÁŠ ZÍTKO

ABSTRAKT

Stavební společnost POHL cz, a.s., v současné době provádí výstavbu druhé etapy Úslavského kanalizačního sběrače v Plzni. Toto dílo se realizuje technologií mikrotuneláže v extrémně složitém geologickém prostředí. Při realizaci se zde pracovníci potýkají s řadou úskalí, která musí operativně řešit a která je zde vhodné zmínit. Tento článek není zaměřen primárně na popis daného projektu, ale na popis samotné technologie mikrotuneláže a situací, které musí realizační firma v nepříznivých geologických podmínkách řešit. Pro větší přehlednost článku byla čísla jednotlivých komponentů z obecného schématu mikrotuneláže (obr. 1) vložena i do textu a k fotografiím.

ABSTRACT

POHL cz, a.s., a construction company, is currently implementing stage 2 of the Úslava Interceptor Sewer project in the city of Pilsen. This project is being realized in an extremely complicated environment using a microtunnelling technique. There were plenty of issues encountered under the construction which had to be dealt with. The paper is not primarily focused on the description of the particular design. Rather, it is focused on the description of the microtunnelling technique itself and the situations the construction company has to solve in the unfavourable conditions. For the sake of clarity of this paper, the numbers of individual components of the general microtunnelling scheme (see Fig. 1) were also incorporated into the text and figures.

ÚVOD

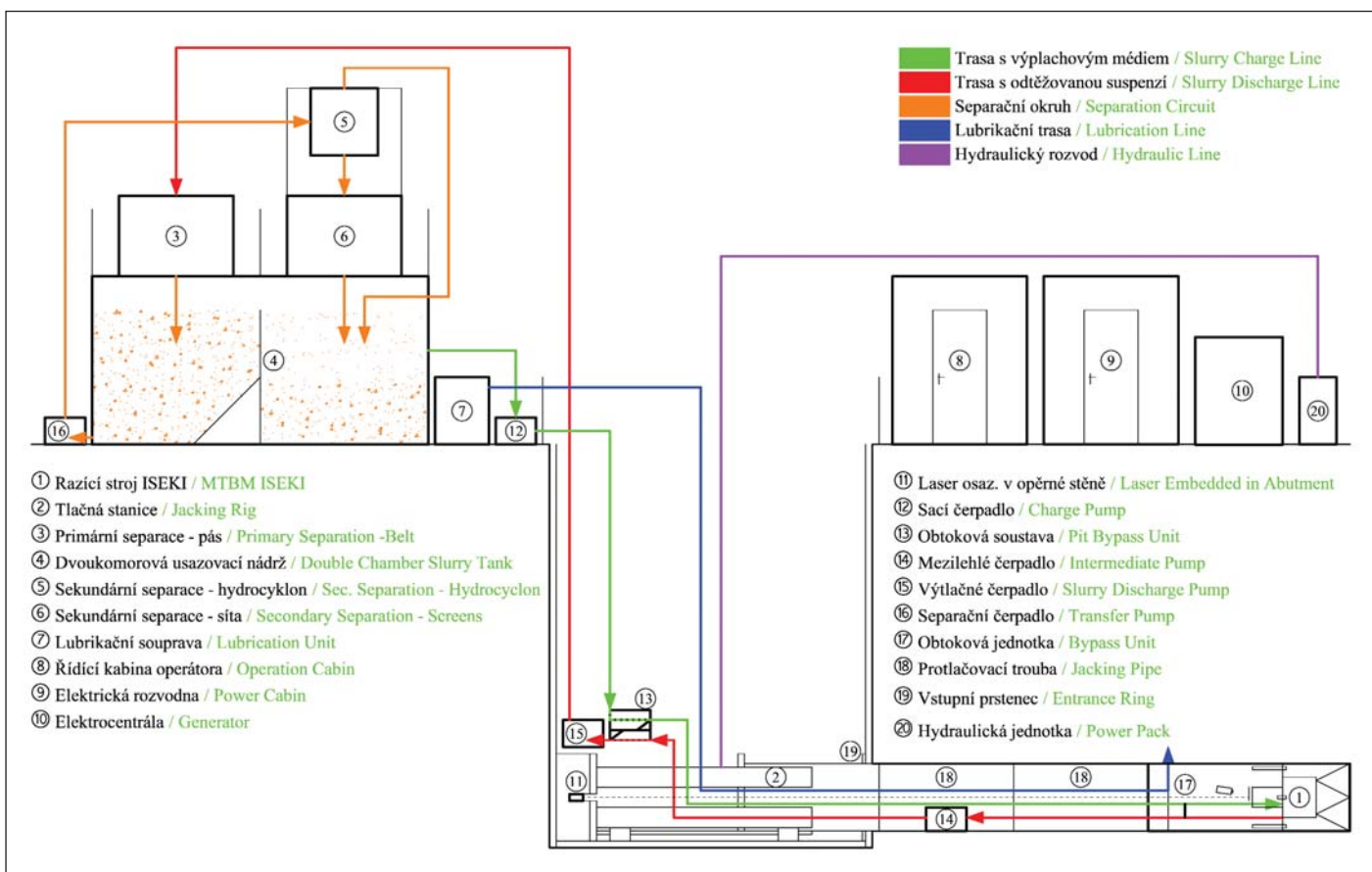
V první polovině roku 2014 byla v Plzni zahájena výstavba první fáze druhé etapy Úslavského kanalizačního sběrače (ÚKS), který bude sloužit k odvádění splaškových vod z městských částí Božkov a Koterov. V rámci první fáze této druhé etapy má být vybudováno:

- 2,3 km kanalizace z kameninových trub DN 800 ® s využitím technologie mikrotunelování;

INTRODUCTION

The implementation of the first phase of the second stage of the Úslava Interceptor Sewer project (UIS), which will dispose of foul water from the municipal districts of Božkov and Koterov, commenced in the first half of 2014. The following structures should be built within the framework of phase No. 1 of this stage No. 2:

- 2.3km of sewerage from DN800 clay pipes ®, using a microtunnelling technology;



Obr. 1 Obecné schéma mikrotuneláže (pozn. čísla označující jednotlivé komponenty rovněž odpovídají číslům v dalších vyobrazeních)

Fig. 1 General chart of the microtunnelling process (Note: the figures marking individual components correspond to the figures in the following pictures)

- 41 revizních šachet hloubky 3,5 až 7,7 m;
- 30 m kanalizace z tvárné litiny DN 800 (podchod pod řekou Úslavou);
- 78 m kanalizace z kameninového potrubí DN 400;
- 10 m proplachovací potrubí z tvárné litiny DN 250;
- odlehčovací komora;
- obslužná komunikace.

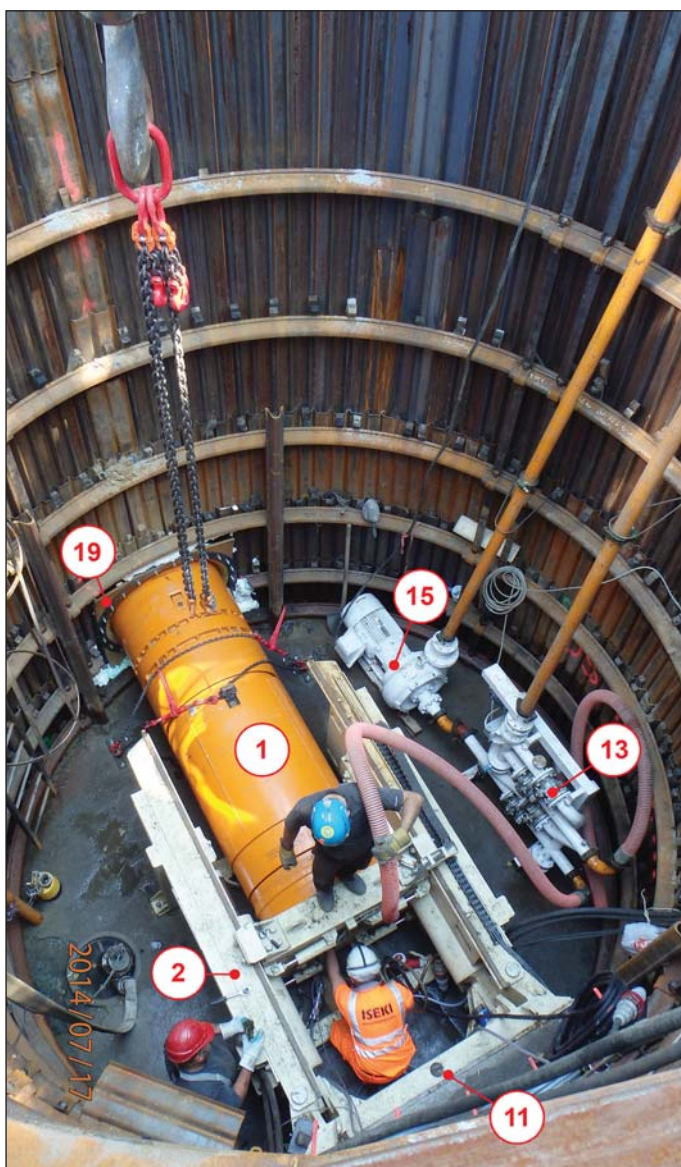
Z uvedeného výčtu je zřejmé, že alfa i omega celého projektu spočívají v úspěšném osazení kameninových kanalizačních trub DN 800 pomocí mikrotunelovacího zařízení (MTBM = Microtunnel Boring Machine).

Celé dílo má být dokončeno v polovině roku 2015, takže v době zrodu tohoto článku se zhotovitel nachází přibližně v polovině.

POPIS TECHNOLOGIE MTBM ISEKI UNCLEMOLE

Základní informace

V dnešní době je již k dispozici řada nejrůznějších typů MTBM. Stavební společnost POHL cz, a.s., disponuje technologií ISEKI Unclemole 980, která umožňuje nasazení mikroštitů i v poměrně proměnlivých geologických podmínkách. Tato technologie se skládá z razicího stroje s uzavřenou vrtnou hlavicí ①, tlačné stanice ②, separačního zařízení, řídicí kabiny operátora ⑧, hydraulického rozvodu, systému čerpadel, obtoků ⑬ ⑰



Obr. 2 Přípravy před ražbou
Fig. 2 Preparation before the excavation

- 41 manholes 3.5m to 7.7m deep;
- 30m of sewerage from DN800 ductile iron pipes (the passage under the Úslava River);
- 78m of sewerage from DN400 clay pipes;
- 10m of slurry line from DN250 ductile iron pipes;
- a relief chamber;
- a service road.

It is obvious from the above-mentioned list that the alpha and omega of the entire project lie in the successful installation of DN800 clay pipes using a Microtunnelling Tunnel Boring Machine (MTBM).

The entire project should be completed in the middle of 2015, which means that is the contractor approximately halfway through to the completion of the project at time this paper is written.

DESCRIPTION OF THE TECHNOLOGY MTBM ISEKI UNCLEMOLE

Basic information

Many various MTBM types are already available today. Construction company POHL cz, a.s., has ISEKI Unclemole 980 technology at its disposal. This technology is the most versatile MTBM for mixed soft ground conditions. The equipment consists of a boring machine with a closed cutterhead ①, a jacking rig ②, a separation plant, an operation cabin ⑧, a hydraulic line, a slurry line which includes a system of pumps, bypass units ⑬ ⑰ and slurry pipes, and an independent lubrication line ⑦.

All this equipment is powered by electricity from a power cabin ⑨, which is connected to a mobile 330kVA generator ⑩. Pressure is transferred into the jacking rig cylinders ② through a high-pressure pipeline with hydraulic oil from a power pack ②, which has the capability to generate this pressure from electrical energy.

Brief description of the microtunneling works

Prior to the excavation, it is necessary to prepare the bottom of the launching shaft, which means to remove the lining of shafts at the place where the machine bites into the ground and also on the opposite wall ⑪ behind the jacking rig ②. Subsequently, an entrance ring with rubber sealing ⑨ has to be installed on the lining, ahead of the cutterhead. The slurry would start to leak into the shaft without proper installation. An abutment is cast on the opposite side. The jacking rig ② will subsequently be propped against it. In the end, a slurry discharge pump ⑮ is connected and a pit bypass unit ⑬ is assembled. The preparation operations end in this way and the microtunnelling operations commence.

The ISEKI machine is lowered down the launching shaft and is installed on the guide frame. It is connected to the pit bypass unit ⑬ with a three-inch pipeline and to the control cabin ⑧ with fibre optic and electrical cables. At the beginning of this tunnel boring, it is necessary to chain the MTBM to the bottom to prevent its rotation (see Fig. 2). Later, when the machine is surrounded by ground, this function is taken over by the edges of square steel bars welded on its skin. Slurry tanks ④ are filled with water and, if reasonable, bentonite or polymers are added. After installing the laser ⑪ and verifying the correct setting of the machine by surveying, the tunnel excavation commences. The tunnel boring machine is started and the jacking rig ② is activated. The excavation is interrupted the moment the machine gets thrust into the natural ground; hoses and cables are disconnected and a jacking pipe ⑥ is lowered down on the guidance frame to be connected to the previous tube. Subsequently, the hoses and cables are connected again and

a výplachového potrubí sloužících k odtěžování zeminy a nezávislém systému lubrikace ⑦ protlačovaného potrubí.

Veškeré toto zařízení je poháněno elektrickou energií z rozvodné skříně ⑨, napojené na mobilní elektrocentrálu ⑩ o výkonu 330 kVA. Tlak je do pístů tlačné stanice ② přenášen skrz vysokotlaké potrubí s hydraulickým olejem z hydraulické jednotky ⑮, která tento tlak dokáže generovat z elektrické energie.

Stručný popis ražby

Před samotnou ražbou je nutné nejprve připravit dno stavební jámy, tzn. odstranit pažení stavebních jam v místě, kde má být zahájena ražba a také na protější stěně ⑪ za tlačnou stanicí ②. Na ostění, před řeznou hlavu, se poté musí osadit vstupní prstenec s gumovým těsněním ⑬, bez jehož řádného osazení by po spuštění čerpadel začal výplach unikat do jámy. Na protější straně se vybetonuje opěrná stěna, o kterou se následně zapře tlačná stanice ②. Na závěr se připojí výtlačné čerpadlo ⑮ a smontuje se obtoková jednotka ⑬. Tím končí přípravné práce a začíná mikrotunelování.

Stroj ISEKI se spustí do startovací jámy a osadí se na vodící rám. Třípalcovým potrubím se propojí s obtokovou jednotkou ⑬ a optickými a elektrickými kabely s řídicí kabinou ⑥. Při zahájení ražby je nutné MTBM kotvit řetězy k betonovému dnu, aby nemohlo dojít k jeho rotaci (obr. 2). Později, když je stroj v zemi, tuto funkci přebírají hrany ze čtvercové oceli podélně navažené na jeho plášti. Odkalovací nádrže ④ se naplní vodou a je-li to opodstatněné, přimíchá se bentonit či polymery. Po osazení laseru ⑪ a geodetickém ověření správné polohy stroje dojde k zahájení ražby. Rázicí stroj se spustí a aktivuje se tlačná stanice ②. Jakmile se stroj zatlačí do rostlé zeminy, ražba se přeruší, rozpojí se hadice a kabely a na vodící rám se spustí bezhrdlová roura ⑧, která se napojí na předešlý segment. Poté se hadice a kabely opět propojí a ražba může pokračovat. Tento proces se neustále cyklicky opakuje až k cílové jámě. Tam se stroj zavěsí na mobilní jeřáb, vytlačí se ven, potrubí a kabely se rozpojí a MTBM se vytáhne na povrch. Tím končí mikrotuneláž daného úseku a nastává jeho vyklízení, po kterém následuje otáčení stroje či stěhování k další startovací jámě. Souběžně s tím je prováděna kontrola řezné hlavy a oleje, po níž zpravidla následuje oprava a údržba stroje, případně optimalizace tvaru a uspořádání řezných dlát pro další úsek.

MTBM ISEKI Unclemole 980 ①

Stroj ISEKI Unclemole 980 je vybaven patentovanou vrtanou hlavicí, skládající se z pevné trychtýřovité a rotační kuželovité části opatřené rameny s řeznými dláty. Směr otáčení řezné hlavy se střídá, aby docházelo k rovnoměrnému opotřebení řezných dlát.

Zemina je nejprve rozrušována krouživým pohybem řezných dlát na rotujících ramenech a následně je tlačena hlouběji do stroje mezi pevnou trychtýřovou a rotující kuželovitou část drtiče. Protože pohyb rotační části není kruhový, ale eliptický, těžký materiál je při průchodu konickým otvorem tímto excentrickým pohybem drcen a míchán s přiváděným výplachovým médiem. Vytvořená suspenze putuje skrz štěrbinový otvor v zadní části drtiče do výplachového potrubí, kterým je transportována na povrch do separačního zařízení.

Prostor za integrovaným drtičem je zachycen na obr. 3. Lze zde vidět:

- A) základní měřidla a indikátory;
- B) rameno směrového ukazatele;
- C) inklinometr;
- D) kamera;
- E) elektromotor pro pohon řezné hlavy;

driving can continue. This process is repeated until the reception shaft is reached. In the shaft, the machine is hanged on a crane and fully pushed out. Then the pipelines and cables are disconnected and the MTBM is lifted to the surface. At this point, this particular section of microtunnelling ends, the installed jacking pipes ⑧ are cleared out and the equipment is switched to the opposite drive or moved into the next launching shaft. The cutterhead and oil in the machine are checked concurrently. It is usually followed by repair and maintenance of the machine, or, if necessary, optimising the shapes and the configuration of the cutters for the next section.

MTBM ISEKI Unclemole 980 ①

MTBM ISEKI Unclemole 980 is equipped with a patented cutterhead consisting of a stationary funnel-shaped part and a rotary cone equipped with four cutting arms at the front. Both directions clockwise/counterclockwise are used to maintain even wear in the cutting tools.

Ground is first disintegrated by the circular motion of cutting tools on the rotating arms in front of the machine and is subsequently pressed deeper into the machine between the stationary funnel-shaped part and the rotating conical part of the crusher. Since the motion of the rotating part is elliptic instead of circular, the excavated material is crushed and mixed with the slurry during the passage through the conical opening. The final suspension passed through a slot opening in the rear part of the crusher to the slurry discharge line, through which it is transported to the separation plant on the surface.

The space behind the crusher is shown in Fig. 3. We can see the following components there:

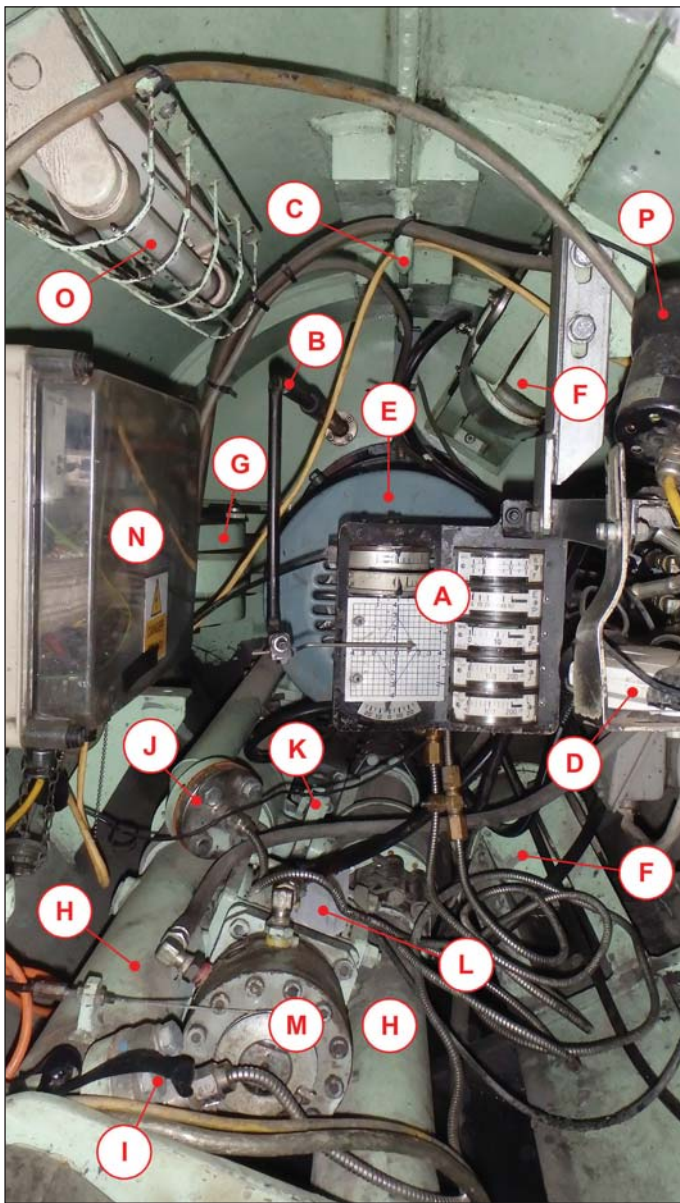
- A) essential gauges and indicators;
- B) steering arm indicator;
- C) inclinometer;
- D) camera;
- E) crusher motor;
- F) hydraulic steering jack;
- G) mechanical joint of the head;
- H) slurry pipes;
- I) slurry pressure indicator;
- J) natural ground water pressure indicator;
- K) stop valve of the slurry line;
- L) bypass unit ⑦;
- M) hydraulic motor of the bypass unit and steering jacks;
- N) control panel;
- O) fluorescent lamp;
- P) engineering spot light.

The value of the unconfined compressive rock strength of 25MPa is given as a limitation for the Unclemole machine; it can be raised up to 50MPa by strengthening the arms of the cutterhead. The machine can even break down isolated boulders with the strength slightly higher, but their dimensions must not exceed ca 1/3 of the cutterhead diameter to be able to pass through the cutterhead into the cone crusher.

Two machines drive the tunnel in the Úslava interceptor sewer. One machine is equipped with a TCC cutterhead (Telegraphic Cone Crusher) designed for mixed ground and further specially modified for driving through medium rock, whilst the other one has a TCC-R cutterhead (Telegraphic Cone Crusher – Rock) designed for medium rock (see Fig. 4). The cutterheads differ in their shapes and configuration of cutting tools. Nevertheless, both machines are in principle identical.

JACKING RIG ②

Jacking rigs differ in their dimensions, the maximum jacking force, the shape of the bearing plate, the working advance



Obr. 3 Pohled do MTBM ① (legenda v textu)

Fig. 3 A view into the MTBM ① (legend in the text)

- F) hydraulický píst;
- G) kloubové uchycení řezné hlavy;
- H) výplachové potrubí;
- I) tlakoměr pro měření tlaku ve výplachové soustavě;
- J) tlakoměr pro měření tlaku podzemní vody;
- K) uzavírací ventil výplachového potrubí;
- L) obtoková jednotka ⑦;
- M) hydraulický motor pro pohon pístů řezné hlavy a obtokových ventilů;
- N) rozvaděč;
- O) zářivka;
- P) bodové světlo pro geodetické měření.

Jako maximální hodnota pevnosti v prostém tlaku horniny pro nasazení stroje Unclemole se udává 25 MPa, při provedení speciálních úprav řezné hlavy je to až 50 MPa. Stroj sice dokáže zpracovat i ojedinělé balvany o něco vyšší pevnosti, ovšem jejich rozměry nesmí převyšovat cca 1/3 průměru řezné hlavy, aby byly schopny projít mezi řeznými rameny přímo do drtiče.

Ražba Úslavského kanalizačního sběrače je prováděna dvěma stroji. Na jednom je hlava do zemin TCC (Telegraphic Cone Crusher) se speciální úpravou pro ražbu v poloskalním prostředí

length, number of stage of hydraulic cylinders and the configuration of the cylinders.

Various types of jacking rigs can be used for jacking, however in general, a small jacking rig is not capable of generating sufficient pressure for pushing large-diameter pipes and, on the contrary, powerful jacking rigs are very massive, and so their use for small pipes is inefficient due to the need for large launching shafts, and the large jacking force cannot be applied to the small-diameter pipes either.

The maximum jacking force should be specified by the producer. However, the whole issue is a little more complicated. One thing is the maximum axial force applied to the pipeline, which is quite easy to determine. However, the other thing is the maximum jacking force transferred into the pipeline in-situ, where it is never possible to achieve perfectly straight alignment and the eccentricity resulting from the inaccuracy has a crucial impact on the transmission of the jacking forces.

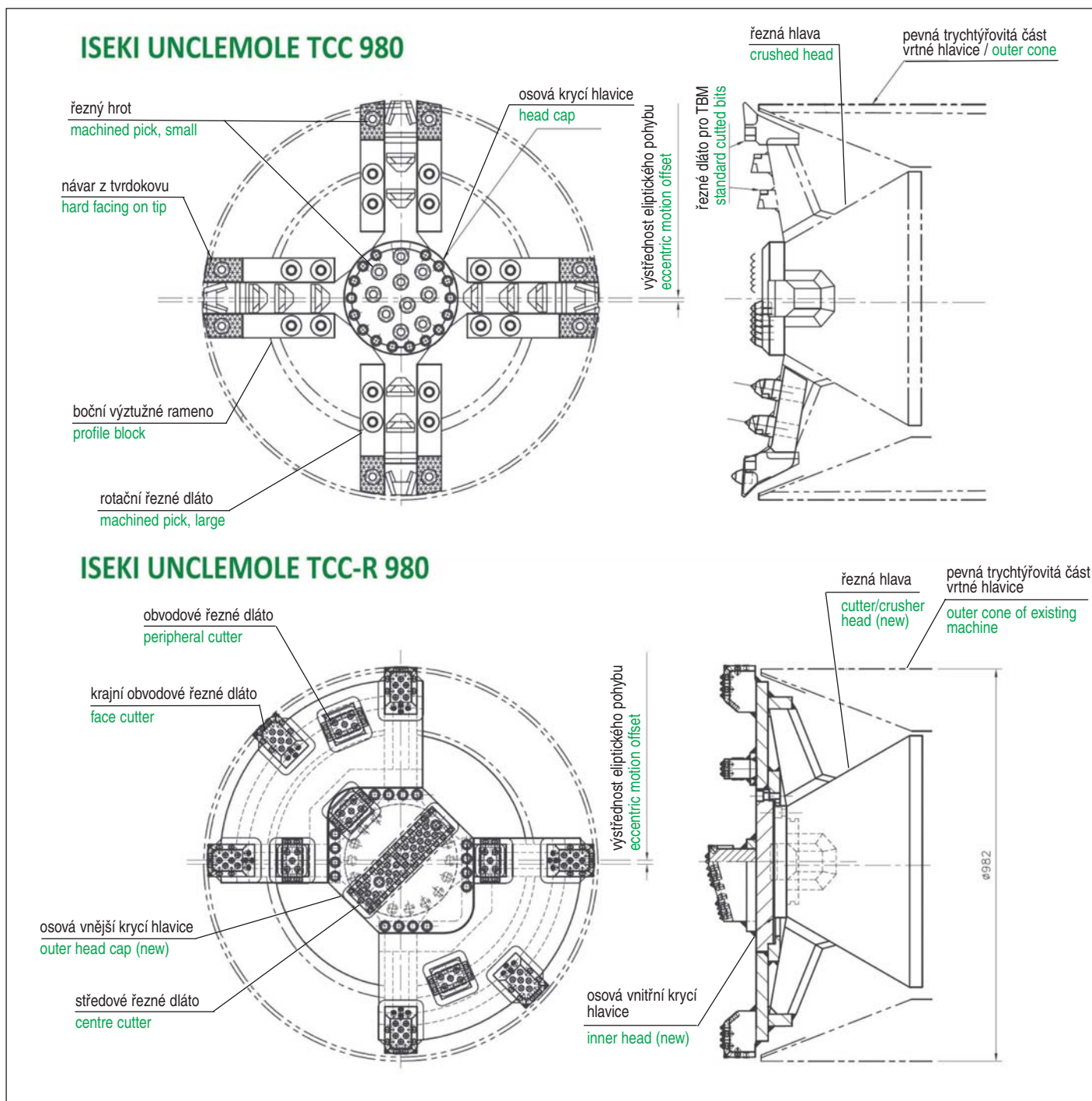
A meeting with Keramo Steinzeug representatives was held at the commencement of the works. It was agreed that the given axial jacking force of 3700kN acting on the particular jacking tubes would be reduced to the value of 2900kN. Nevertheless, this value can be considered as a limit value only under the assumption that the directional tolerances specified in DIN EN 12889, where the maximum vertical and horizontal directional deviations of the pipe DN800 are $\pm 25\text{mm}$ and $\pm 40\text{mm}$, respectively. These requirements are further more conditioned by another requirement saying that the deviations can be gradual only (this vague condition has never been defined explicitly).

The Úslava interceptor sewer tunnel is being driven using 300 tonne multi rig with a flat bearing plate, the maximum jack extension of 2.3m. The maximum jacking force is additionally limited to the value of 250 tonnes to prevent the damage of the jacking clay pipes.

Slurry system

The excavated spoil is removed from the tunnel by closed slurry system. The slurry gets into the slurry charge line from a separation plant. The slurry is pumped by the charge pump ⑫ through the pit bypass unit ⑬ placed in the shaft (allowing the venting of the slurry line and reversing the flow in order to clear any blockages) to the cutterhead ①. The excavated material is picked up into the suspension and carried out via an intermediate pump ⑭ back to the shaft and then pushed by the slurry discharge pump ⑮ to the separation plant. The entire system has to run permanently to avoid the settlement of the fine-grained component in the slurry line or the freezing of the line in the winter season. The second bypass ⑰ installed inside the MTBM allows redirecting the flow outside the cutterhead, using remotely controlled valves to ensure the circulation of the slurry during technical breaks and, at the same time, to keep the required pressure at the excavation face even during the extension of the slurry line (otherwise the suspension would flow into the shaft).

Another important duty of the operator, apart from ensuring the slurry circulation, is to adjust the slurry pressure at the face to counterbalance the hydrostatic pressure in the ground. If the pressure in the slurry line is very low, the pumped suspension will start to settle in the pipeline and the pipeline may get clogged (the slurry volume rate of flow in 2" and 3" pipelines must not drop under $0.25\text{m}^3/\text{min}$ and $0.8\text{m}^3/\text{min}$, respectively). In the case of excessively high pressure, the slurry would leak through the cutterhead into the surrounding earth (particularly in highly permeable environments such as gravel terraces) and, in an extreme case when the slurry pressure at the cutterhead



Obr. 4 Řezná hlava TCC a TCC-R ① (Autor: ISEKI Microtunnelling)
Fig. 4 TCC and TCC-R cutterheads ① (Author: ISEKI Microtunnelling)

a na druhém je hlava do poloskalních hornin TCC-R (Telegraphic Cone Crusher - Rock) – obr. 4. Řezné hlavy se liší svým tvarem a rozmístěním řezných dlát, nicméně principiálně jsou oba stroje totožné.

Tlačná stanice ②

Tlačné stanice se liší především svými rozměry, maximální tlačnou silou, tvarem roznášecí desky, délkou pracovního záběru a počtem stupňů a osazených pístů.

K protlačování se mohou používat různé typy stanic, ale obecně platí, že malá stanice nedokáže vyvinout dostatečnou sílu pro tlačení potrubí velkého průměru, a naopak silné stanice jsou velmi masivní, a tak je jejich použití u potrubí menších rozměrů neefektivní, jelikož to vede k nutnosti budování velkých stavebních jam, a navíc síla těchto stanic stejně nemůže být u těchto subtilních trub využita.

exceeds that of the hydraulic head at the surface, the slurry could run through the fissures in the overload and spurt to the surface.

The flow of slurry is controlled by variable speed of charge and discharge pumps. The charge pump ⑫ and discharge pump ⑮ are operated at ca 50% and ca 70% of the maximum power capacity, respectively. It is recommended to insert an additional intermediate pump ⑭ in case the discharge pump is overloaded for a long period (usually when sections longer than 100m are driven). The power of the intermediate pump ⑭ cannot be changed, which means that the pump adds a constant increment to the power of the discharge pump ⑮.

In the case of the blockage, the rate of flow through the valve at the end of the pit bypass unit ⑬ is reduced, therefore the pressure in the slurry line upstream from the valve increases and the

Maximální tlačnou sílu by měl stanovit výrobce potrubí. Celá problematika je ovšem trochu složitější. Jedna věc je totiž maximální osová síla aplikovaná na potrubí, kterou není těžké stanovit, a druhá věc je maximální tlačná síla vnesená do potrubí in-situ, kde nikdy nelze dosáhnout dokonale přímého vedení a tato excentricita z nepřesnosti má na přenos tlačných sil zcela zásadní vliv.

Při zahájení stavby proběhla schůzka se zástupci firmy Keramo Steinzeug, kde bylo dohodnuto, že udávaná maximální osová tlačná síla na dané protlačovací trouby 3700 kN bude redukována na hodnotu 2900 kN. Tato hodnota může být ovšem považována za hodnotu limitní pouze za předpokladu, že nebudou překročeny směrové tolerance uvedené v DIN EN 12889, kde je pro potrubí DN 800 stanovena maximální směrová odchylka ± 25 mm ve vertikálním směru a ± 40 mm v horizontálním směru. To vše je ještě navíc podmíněno požadavkem, že odchylky smí být pouze pozvolné (tato vágní podmínka ovšem nikde není explicitně definována).

Při ražbě Úslavského kanalizačního sběrače se používají tlačné stanice s rovnou roznašecí deskou, délkou záběru 2,3 m a maximálním výkonem 300 t. Maximální tlačná síla je dodatečně uměle omezena na hodnotu 250 t, aby nemohlo dojít k poškození kameninových tlačných trub.

Systém odtěžení

Systém odtěžování zeminy probíhá pomocí výplachového média, které cirkuluje v uzavřeném okruhu. Výplachové médium se do potrubí dostává ze separačního zařízení, odkud přes sací čerpadlo ⑫ putuje do šachty, kde se skrz obtokové zařízení ⑬ ve stavební jámě (umožňuje odvzdušnit výplachové potrubí a také přesměrovat tok výplachu v případě ucpání) přivádí k hlavě razicího stroje ①. Zde se médium mísí s vytěženou zeminou a vzniklá suspenze je unášena přes mezilehlé čerpadlo ⑭ zpět do šachty, odkud putuje za pomoci výtlakového čerpadla ⑮ do separačního zařízení. Celý tento systém musí neustále cirkulovat, aby nedocházelo k usazování jemné složky ve výplachovém potrubí a v zimním období také k zamrzání potrubí. Pro tyto účely je v razicího stroji umístěn druhý obtok ⑰, kterým lze za pomoci integrovaných dálkově říditelných ventilů přesměrovat tok mimo razicí hlavu a umožnit tak cirkulaci výplachu v době technologických přestávek a zároveň udržet potřebný tlak na čelbě i v době prodlužování výplachového potrubí (jinak by se při rozpojení potrubí začal výplach hrnout společně s podzemní vodou a vytěženým materiálem do stavební jámy).

Jedním z dalších důležitých úkolů operátora je, kromě popísaného udržování výplachového média v chodu, i udržování rovnovážného stavu mezi totálním napětím a napětím na řezné hlavě. V případě, že by tlak ve výplachovém potrubí byl příliš nízký, těžená suspenze by se začala v potrubí usazovat a docházelo by tak k jeho zanášení potažmo ucpání (objemový průtok výplachu nesmí klesnout u 2" potrubí pod 0,25 m³/min a u 3" potrubí pod 0,8 m³/min). V případě příliš vysokého tlaku by došlo k unikání výplachového média skrz řeznou hlavu do okolní zeminy (zejména v silně propustném prostředí šterkových teras) a v extrémním případě, kdy by tlak výplachového média v řezné hlavě překročil hodnotu tlaku vodního sloupce na výšku od řezné hlavy k terénu, by v nepříliš propustném prostředí (např. zvětralých břidlic) mohlo dojít i k tomu, že výplachové médium unikne puklinami v nadloží a extruduje na povrchu.

Rychlost průtoku se řídí pomocí regulace výkonu sacího a výtlakového čerpadla. Sací čerpadlo ⑫ standardně pracuje na cca 50% výkon, kdežto výtlakové ⑮ na cca 70%. Při dlouhodobě vyšším zatížení tohoto čerpadla (zpravidla při ražbě úseků délky nad 100 m) by se mělo navíc osadit čerpadlo mezilehlé ⑭. Výkon



Obr. 5 Separční soustava

Fig. 5 Separation system

clogging material is forced out (if the slurry line is blocked downstream from the valve, it is necessary to redirect the slurry flow through the pit bypass unit ⑬).

Separation system

A separation plant is used for the separation of the slurry (water or water with bentonite and polymers) from the solid component (excavated spoil). The principle of the separation system used at the Úslava interceptor sewer is as follows: The extracted suspension is carried through the slurry discharge line to a belt screen providing the primary separation ③. The coarsest component remains on the screen and is transported by the belt to a spoil skip, whilst water with the fine-grained material passes through the screen and gets into the first of two chambers of the slurry tank ④ (the walls of this chamber are slanted to prevent the spoil settling along the chamber walls). The material is subsequently transported by a transfer pump ⑯ from the first chamber of the slurry tank ④ to the hydrocyclone ⑤. The hydrocyclone is formed by a system of eight funnels, which separate the solid component from the material fed from the side by a gyratory motion. The centrifugal slurry moves up and gets through the pipe into the second chamber of the slurry tank ④, whilst the coarser material falls through the funnels ⑤.



Obr. 6 Povrch – velín ⑧, separace, šachta
Fig. 6 Surface – operation cabin ⑧, separation plant, shaft

mezilehlého čerpadla nelze měnit a tvoří tak v podstatě konstantní přírůstek výkonu čerpadla výtláčného ⑮.

V případě ucpání potrubí se přiškrtní ventil na ústí obtokové soustavy, čímž dojde ke zvýšení tlaku ve výplachovém potrubí proti toku ventilu a ucpaný materiál se tak vytlačí ven (pokud je výplachové potrubí ucpáno až za tímto ventilem, je nutné přeměrovat tok výplachu za pomoci obtokové soustavy).

SEPARAČNÍ SOUSTAVA

Nedílnou součástí příslušenství každého MTBM je separační zařízení, jež slouží k oddělení výplachového média (vody, příp. vody s příměsí bentonitů a polymerů) od pevné složky (rozmělněné vytěžené zeminy). Princip separační soustavy používané na Úslavském kanalizačním sběrači je následující. Těžená suspenze se systémem potrubí přivádí na pásové síto ③ tvořící primární separaci. Nejhrubší složka zůstane na sítu a pásem se transportuje na dočasnou skládku, kdežto voda s jemnou příměsovou složkou skrz síto protéká a dostává se tak do první ze dvou komor odkalovací nádrže ④ (tato komora má uvnitř zkosené stěny, aby nedocházelo k usazování hrubšího materiálu podél stěn nádrže). Materiál je poté separačním čerpadlem ⑯ dopravován z první komory odkalovací nádrže do hydrocyklonu ⑤. Ten je tvořen

on separation screens ⑥. The screens separate the coarser component away to the spoil skip and let slurry pass through into the second chamber of the slurry tank ④. The slurry in the slurry tank is pumped again by the charge pump ⑫ into the slurry charge line.

Lubrication system

The lubrication of jacking pipes ⑱ is carried out by lubrication unit ⑰ consisting of lubrication mixer, injection pump and storage tank. Bentonite mixtures are usually used. Bentonite is injected through a lubrication line and a lubrication joint located around the circumference of the rear part of the machine, to the annulus between the pipes ⑱ and the surrounding ground.

Jacking pipes with the diameters exceeding 1.2m are usually additionally lubricated throughout the excavation length through one-way valves installed directly in the walls of the jacking tubes (this is not done for DN800 jacking pipes).

Operation cabin ⑧

The entire microtunnelling process is controlled by an operator from the operation cabin, which is usually located just next to the launching shaft so that the operator has a proper grasp of the events taking place both in the shaft and on the surface (see Fig. 6).

The operation cabin contains (see Fig. 7):

- a) a screen displaying the camera images transmitted from the tunnel boring machine ①;
- b) another monitor displaying the video transmission from the tunnel boring machine – it is there only in case of a defect of the first monitor;
- c) a monitor displaying computer-processed data – e.g. the length of the extension of the hydraulic jacks ②, the excavation advance rate, the direction of the cutterhead rotation ①, the valve positions ⑰, the rate of the loading of the motor and pumps, the machine inclination, the voltage in the machine, the flow rate of the circulating slurry (it is usually maintained at 0.85-0.90m³/min), the pressure on the jacking pipes ⑱ applied by the jacking rig ②, etc.;
- d) a display providing information on the equipment which is currently in operation and showing error messages;
- e) an operation desk through which the MTBM and its equipment is controlled.

The videotransmission from the boring machine is displayed simultaneously to two screens for safety reasons, because it shows gauges and indicators necessary for accurate steering, i.e.:

- a laser target – it shows the actual position of the rear part of the machine ① (as opposed to the inclinometer, which gives the value of the machine inclination in relation to the hypothetical horizontal plane, not the gradient of the excavation); the boring machine sometimes “floats” under the ground, it can therefore sink in reality even when it is inclined upward and vice versa. The laser target is therefore crucial for the verification of the correct position of the machine;
- the position of the integrated remotely-controlled valves in the bypass unit ⑰ ahead of the cutterhead ①;
- pressure gauges – showing the pressure in the slurry line, the groundwater pressure, the effective stress and pressure in the hydraulic line;
- the status of the upper and lower jacks of the head ① – the head of the machine is connected to the machine body by two hydraulic jacks and one hinge (the first and second jacks are installed at the one o'clock and 5 o'clock positions, respectively, whilst the hinge is at the nine o'clock position), which allow the turning of the cutterhead in any arbitrary direction;

soustavou osmi trychtýřů, které rychlým krouživým pohybem oddělují pevnou složku z boku přiváděného materiálu. Odstředěný výplach putuje vrchem do druhé komory odkalovací nádrže, kdežto hrubší materiál propadá skrz trychtýře na separační síta ⑥. Ty odseparují pevnou složku na mezilehlou skládku a prosátý výplach propustí do druhé komory odkalovací nádrže ④. Odtud je výplach opět čerpán sacím čerpadlem ⑫ do výplachového potrubí.

Lubrikační souprava

K lubrikaci protlačovaného potrubí ⑩ se obvykle používají bentonitové směsi, které se pomocí lubrikační soupravy ⑦ (tvořené míchačkou na bentonit, čerpadlem a akumulační nádrží) vhání nezávislým potrubím, skrz lubrikační spáru umístěnou po obvodu zadní části stroje, do prostoru za protlačovaným potrubím ⑩.

Potrubí průměru nad 1,2 m se zpravidla navíc lubrikuje po celé délce ražby skrz jednosměrné ventily osazené přímo v protlačovacím potrubí (v protlačovacích troubkách DN800 se neprovádí).

Řídicí kabina ⑧

Celý systém mikrotunelování je řízen operátorem z řídicí kabiny, která se zpravidla umísťuje hned vedle startovací jámy tak, aby

- machine ① rotation – in the case that the machine starts to rotate around its axis, it is necessary to change the direction of the cutterhead rotation and in this way, return the MTBM to the initial position.

All digitally processed data is stored on a PC and, thanks to the MoRoS HSPA transmitter, is available on-line through the INSYS Connectivity Service. In this way the error messages can be readily responded by ISEKI engineers in England, whose help and experience proved useful to the contractor many times before.

BRIEF CHARACTERISTICS OF THE PROJECT

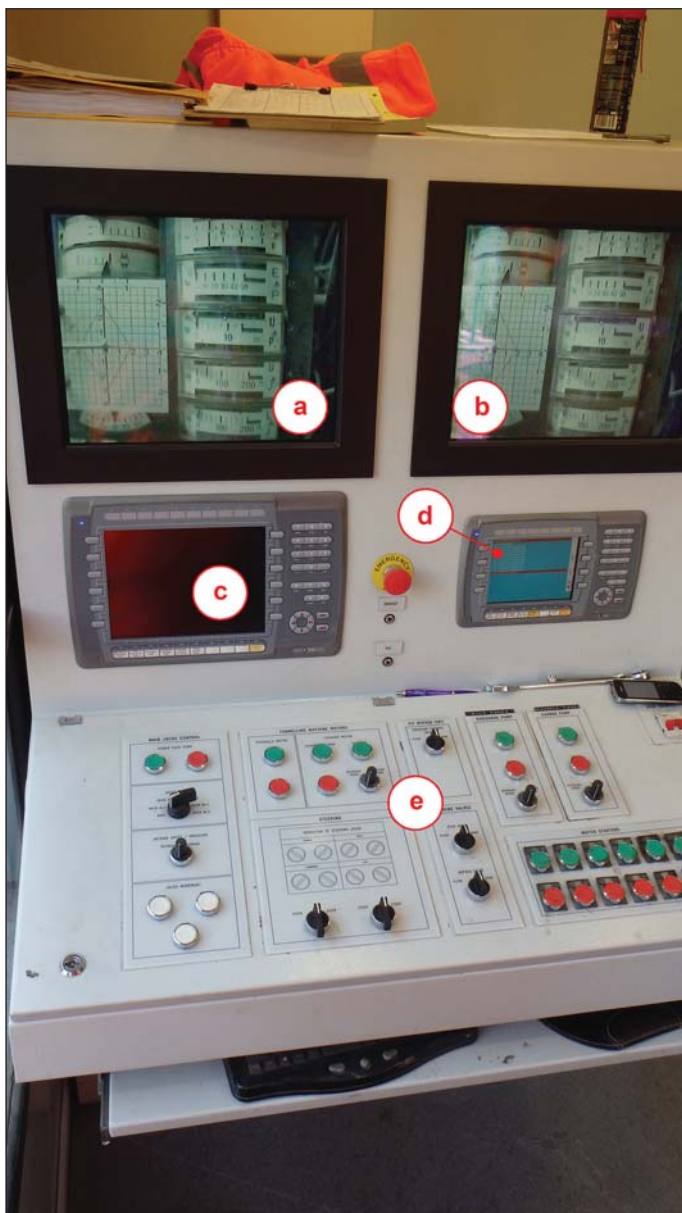
Engineering geological conditions

From the aspect of regional geological division of the Czech Republic, the area of operations is part of the Algonkian complex at the eastern edge of the Pilsen Basin. From the aspect of lithology, this series developed as a complex of mostly pelitic-psamitic rock types, weakly metamorphosed shale, i.e. schist, siltstone and greywacke. In addition, there are tuffs and tuffites with interlayers of quartziferous rock types (cherts) with basalt volcanic outcrops abundantly present there.

The excavation has been accompanied by significant complications since the commencement - low advance rates, problems associated with maintaining the required direction of the machine, extreme wearing of cutting tools, repeated blocking of the machine, etc. Therefore POHL cz, a.s. had commission company Samson Praha s.r.o. to prepare a supplementary geological survey analyzing geophysical measurements using the MRS method (the Shallow Seismic Refraction Survey) and the DEMP method (the Dielectric Magnetic Profiling), supplemented by ten new cored boreholes.

Whilst the original survey report was mainly based on archive boreholes from the adjacent area, the new supplementary geophysical measurements closely followed the designed centre line of the sewer and the locations of the new cored boreholes were reasonably determined based on an engineering judgement. The results of the geophysical methods were used to determine the positions of individual layers in the sub-base (their quantitative geotechnical parameters, too) and determining the locations with an extremely unfavourable geological situation. The cored boreholes were telescopic (the diameter of 195mm was applied down to the depth of 4.5m, whilst the diameter of a mere 156mm was applied down from the depth of 4.5m), ending under the bottom of the designed sewerage pipeline. They served to determine the geological section, taking laboratory samples and calibrating the geophysical methods (to obtain qualitative values). In addition, engineering geological documentation of the excavated shafts, which had been carried out by ARCADIS CZ a.s., also served for the better interpretation of the results of the geophysical measurements.

The results of the supplementary geological survey show that nearly the entire alignment of the interceptor sewer is located directly on the border between bouldery and gravelly terraces and the underlying schist. The gravel terrace contains a significant amount of free floating chert boulders with the unconfined compressive strength exceeding 200MPa. The schist is mostly weathered, thinly tabularly decomposing, with the R4 unconfined compressive strength (i.e. 5–15MPa) up to R5 (up to 5MPa), exceptionally R3 (15–50MPa). Quartziferous schist with the strengths characterised as R3 (15–50MPa) through to R2 (50–150MPa) is randomly encountered (roughly 30% of the volume), whilst about 5% of the volume is characterised as R1 (over 150MPa). The occurrence of this very hard rock had not been demonstrated in the previous



Obr. 7 Pohled do kabiny operátora ⑧ (legenda v textu)
Fig. 7 A view into the operator control cabin ⑧ (legend in the text)

měl operátor přehled jak o tom, co se děje ve stavební jámě, tak i o tom, co se odehrává na povrchu (obr. 6).

V kabině operátora je umístěn (obr. 7):

- a) monitor zobrazující kamerový přenos z razicího stroje ①;
- b) druhý monitor zobrazující videopřenos z razicího stroje – je zde pouze pro případ poruchy prvního monitoru;
- c) monitor zobrazující počítačem zpracovaná data – např. délku vyložení lisů tlačné stanice ②, rychlost ražby, směr otáčení řezné hlavy, stav ventilů ⑦, míru zatížení motoru a čerpadel, naklonění stroje ①, elektrické napětí ve stroji, průtokové množství cirkulujícího výplachu (standardně se udržuje 0,85–0,90 m³/min), tlak od tlačné stanice ② na protlačecí potrubí ⑩, atd.;
- d) display poskytující informace, která zařízení jsou aktuálně v chodu a zobrazující chybová hlášení;
- e) řídicí pult, kterým se MTBM a jeho příslušenství ovládá.

Videopřenos z razicího stroje je zobrazen z bezpečnostních důvodů hned na dvou obrazovkách, protože zobrazuje měřidla a indikátory, bez kterých nelze stroj řídit. Jedná se o:

- záměrný kříž s laserovým ukazatelem – zobrazuje skutečnou polohu zadní části stroje ① (na rozdíl od náklonoměru, který udává hodnotu sklonu stroje vůči pomyslné horizontální rovině, nikoli sklon ražby); razicí stroj někdy pod zemí „plave“, a tak i při náklonu nahoru může ve skutečnosti klesat a naopak, záměrný kříž je tedy pro ověření správné polohy stroje rozhodující;
- stav integrovaných dálkově říditelných ventilů obtokové soustavy ⑦ před řeznou hlavou ①;
- manometry – zobrazují tlak ve výplachovém potrubí, tlak podzemní vody, efektivní napětí a tlak v hydraulickém rozvodu;
- stav horního a dolního pístu řezné hlavy ① – řezná hlava je ke stroji přichycena přes dva hydraulické písty a jeden kloub (první píst je umístěn na jedné hodině, druhý na pěti hodinách a kloub na devíti hodinách), což ji umožňuje natáčení do libovolného směru;
- pootočení stroje ① – v případě, že se stroj začne otáčet kolem své osy, je nutné změnit směr rotace řezné hlavy a tím MTBM vrátit do výchozí polohy.

Veškerá digitálně zpracovaná data jsou ukládána v PC a díky vysílači MoRoS HSPA jsou přes službu INSYS Connectivity Service dostupná online. Na chybová hlášení tak mohou pohotově reagovat inženýři spol. ISEKI v Anglii, jejichž pomoci a zkušeností zhotovitel nejednou využil.

STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA STAVBY

Inženýrskogeologické poměry

Z hlediska regionálně geologického členění České republiky patří zájmová lokalita k algonkiu východního okraje Plzeňské pánve. Litologicky se tato série vyvinula jako komplex převážně peliticko-psamitických hornin, slabě metamorfovaných břidlic, prachovců a drob. Dále jsou zde hojně zastoupeny tufy a tufity s vložkami prokřemenělých hornin (bulžníků) s proniky bazaltových vulkanitů.

Protože ražbu prakticky od zahájení provázely značné komplikace (pomalé postupy, problémy s udržením požadovaného směru stroje, extrémní opotřebení řezných dlát, opakované uvíznutí stroje), společnost POHL cz, a.s., nechala zpracovat u spol. Samson Praha s r.o. doplňkový geologický průzkum, spočívající v geofyzikálním měření metodou MRS (mělká refrakční seismika) a metodou DEMP (dielektrické magnetické profilování), doplněný o deset nových jádrových vrtů.

geological documentation and the designer therefore could not respond to the finding.

In the final report, the survey processor states, among other things, that cutting points of the tungsten carbide drill bits broke off (not by getting ground down) during the execution of the cored boreholes and so the drill bits were disposed per each borehole.

Hydrogeological conditions

The alignment of the interceptor sewer also runs in the immediate vicinity of the Úslava River. The upper layers of the sub-base are formed by a gravel terrace. It means that the sub-grade features intrinsic permeability, forming the water table (unconfined aquifer). The entire underground working is located under the water table. Groundwater inflows into the shafts are therefore relatively intense and have to be continually pumped.

The virtually entire area of interest falls within the Úslava River spillage area, serving to protect the city of Pilsen against floods. We could see the rate at which the Úslava River can rise and overflow its banks in this location right at the start of the construction work.

Geometrical arrangement of the structures

The whole mined section (2.3km) is divided into partial sections between 39 cut-and-cover shafts 3.5m to 7.7m deep, which were divided into three categories according to their purpose, i.e. launching shafts, reception shafts and intermediate shafts. The tunnel excavation always starts from the launching shafts (in both directions) toward the receiving shafts, where the tunnelling machine is only lifted to the terrain surface. The intermediate shafts have no technological purpose (they serve for the installation of manholes only). They are therefore constructed additionally, after the pipe jacking is finished. Individual mined sections are 30 through to 140 metres long and their gradient is 3.5‰.

DESCRIPTION OF SOME PARTICULAR SITUATIONS DEALT WITH ON THE ÚIS PROJECT

Design of the shafts and solution of the instability issue during the preparation for tunnelling

The shafts were at first design as rectangular with steel sheet piles lining. Because of the fact that the piles in the particular geology could not be driven to a sufficient depth, their application was finally rejected. It is necessary for technological reasons to always provide sufficient space in the shaft for the jacking rig ②, to be on the center line of the future excavation. It would mean the need for the given design to transform the rectangular shafts into trapezoidal shafts and to adapt each of them individually, to suite the polygonal line of the designed centre line of the sewer. Therefore it was decided to use circular shafts supported by frames from K21 colliery arches and UNION lagging (see Fig. 8). This solution proved to be successful.

The lining behind the jacking rig ① and within the excavated area ⑨ has to be removed prior to excavation. When the lagging is removed in the environment formed by water-bearing gravel, the gravel immediately slides into the space of the shaft. This situation can be prevented behind the jacking rig by casting a concrete thrust wall in the first step and removing the UNION lagging after partial setting of the concrete (or every other lag may remain in place). In the space ahead of the rig, gravel has to be stabilised by driving UNION lags ahead up to the depth of ca 1m and creating an about 2m long forepoling umbrella from concrete reinforcement bars 20mm in diameter.

In some cases, polyurethane resin was injected into the space above the excavation. It subsequently eliminated the loosening

Zatímco původní geologická zpráva se opírala především o archivní vrty z okolí stavby, trasa doplňkového geofyzikálního měření přesně sledovala osu projektované kanalizace a poloha nových jádrových vrtů byla účelně volena do přesně vytipoovaných míst. Výsledky geofyzikálních metod posloužily ke zjištění průběhu jednotlivých vrstev v podloží (i jejich kvantitativních geotechnických parametrů) a stanovení míst s vysokým stupněm ohrožení ražby. Jádrové vrty byly teleskopické (do hloubky 4,5 m měly průměr 195 mm a od hloubky 4,5 m byly průměru pouze 156 mm), končily pode dnem projektovaného kanalizačního potrubí a sloužily ke zjištění geologického řezu, odběru laboratorních vzorků a kalibraci geofyzikálních metod (k získání kvalitativních hodnot). K lepší interpretaci výsledků geofyzikálního měření rovněž posloužila inženýrskogeologická dokumentace již vyhloubených šachet zpracovaná společností ARCADIS CZ a.s.

Z výsledků doplňkového geologického průzkumu vyplývá, že téměř celá trasa vedení kanalizačního sběrače je situována přímo do rozhraní zemin balvanité šterkovité terasy a podložních břidlic. Šterkovitá terasa obsahuje značné množství volně plovoucích balvanů buližníku s pevností v prostém tlaku převyšující 200 MPa. Břidlice jsou převážně zvětřelé, tenké deskovitě rozpadavé, pevnosti v prostém tlaku R4 (tj. 5–15 MPa) až R5 (do 5 MPa), výjimečně R3 (15–50 MPa). Náhodně se vyskytují prokřemenělé výplně břidlic (zhruba ve 30 % objemu) s pevnostmi charakterizovanými jako R3 (15–50 MPa) až R2 (50–150 MPa) a zhruba v 5 % objemu i R1 (nad 150 MPa). Výskyt těchto velmi tvrdých hornin nebyl v předchozí geologické dokumentaci prokázán, a tak na něj projektant nemohl reagovat.

Zpracovatel průzkumu v závěrečné zprávě mimo jiné uvádí, že při provádění jádrových vrtů docházelo na vrtných korunkách k vylamování (nikoli obrušování) řezných hrotů z tvrdokovu a tak si jednotlivé vrty vyžádaly až tři vrtné korunky.

Hydrogeologické poměry

Trasa kanalizačního sběrače je prováděna v bezprostřední blízkosti řeky Úslavy. Vrchní vrstvy podloží tvoří šterková terasa, jedná se tedy o podloží s průlinovou propustností s volnou hladinou podzemní vody (HPV). Celé podzemní dílo je situováno pod HPV, její přítoky do stavebních jam jsou tedy poměrně intenzivní a musí být kontinuálně čerpány.

Prakticky celá zájmová oblast navíc spadá do rozlivového území řeky Úslavy, sloužícího k ochraně města Plzně před povodněmi. O rychlosti, s jakou dokáže řeka Úslava v této lokalitě nastoupat a vylít se z břehů, bylo možné se přesvědčit hned při zahájení stavby.

Geometrické uspořádání stavebních objektů

Celý ražený úsek (2,3 km) je rozčleněn na dílčí úseky mezi 39 hloubených stavebních jam hlubokých 3,5 až 7,7 metrů, které byly podle účelu rozděleny do tří kategorií, a sice jámy startovací, cílové a průběžné. Ražba je realizována vždy ze startovacích jam (na obě strany), k jámám cílovým, ze kterých se stroj pouze vytahuje na povrch. Jámy průběžné nemají pro ražbu žádné technologické opodstatnění (slouží pouze pro osazení revizních šachet), jsou tedy prováděny dodatečně až po zatlačení potrubí. Jednotlivé ražené úseky mají délku od 30 do 140 metrů a sklon 3,5 ‰.

POPIS VYBRANÝCH SITUACÍ ŘEŠENÝCH NA ÚKS

Návrh stavebních jam a řešení nestability při přípravě na ražbu

Původně bylo v projektu počítáno s obdélníkovými jámami paženými pomocí ocelových štetovnic. Protože by se v dané geologii štetovnice nedaly beranit do dostatečné hloubky, bylo od jejich použití nakonec upuštěno. Z technologických důvodů je nutné zajistit vždy ve stavební jámě dostatečný prostor pro tlačnou

of the gravel behind the lining and leaking of slurry into the shaft during the excavation of initial metres.

Consequences of tunnelling through hard rock

Because of the fact that geology at the Úslava Interceptor Sewer construction is very variable, MTBMs designed for soft ground or hard rock cannot be used. For that reason the most versatile ISEKI Unclemole machines are used. However, even these machines are designed for medium rock only with the maximum unconfined compressive strength of 50MPa. Unfortunately, the contractor is often found in an environment significantly stronger. This fact has serious negative impacts not only on the cutterhead but on all equipment, including even, for example, the generator ⑩, which is not directly exposed to the strong rock, however it must generate significantly more power than usual.

On this project, the cutterhead, which is able to drive over 1km in common conditions without the necessity for more serious repairs, passes through a complete renovation after each completed section (i.e. every ca 50m). When hard rock is being crushed in the crusher, very abrasive and very fine dust is generated, having two significant negative consequences.

The abrasiveness of siliceous dust causes the destruction of the slurry pipes, separation screens ⑥, hydrocyclone funnels ⑤, pumps, bypass units ⑬ ⑭, bearings, valves and also, for example, the mechanical seal & slip ring of the cutterhead ①, where the cost of its replacement is roughly equal to the price of a new car.

The fineness of the siliceous dust in addition causes the slurry pollution – the dust originating during the crushing of the hard rock is so fine that it binds to the slurry medium and, together with it, forms mush. During the passage through the hydrocyclone ⑤, the dust is not centrifuged down to the screens ⑥ and, instead of it, it moves up together with the slurry through the pipe straight to the slurry tank ④. Because this dust is not being separated from the slurry, it is gradually accumulated and, after some time, the slurry is degraded and must be replaced. The slurry sometimes has to be exchanged even in the case of common medium rock environment, however approximately 1-2 times per month only. In the environment formed by cherts and quartziferous schist, it has to be exchanged on daily basis. The slurry is removed from the slurry tank ④ by a suction excavator, which is very expensive to operate.

Optimisation of cutting tools

The geology in the locality of interest is extremely variable – schist (locally weak, completely weathered; locally compact, heavily quartziferous) alters with gravel containing cherts with very high strength. Such a variable geological situation represents an extreme strain, acting mainly on the cutterhead. Therefore it is necessary to optimise it continually according to the current geological situation.

The first change, compared with the classical configuration of the TCC cutterhead, lied in the installation of reinforcing cutter arm blocks on the cutter arms. This modification was taken over after a positive experience from the preceding stage. In addition, it was necessary to thoroughly cover all exposed parts, in particular the front-end edge of the tunnelling machine, the crusher (both the stationary and rotating parts) and cutting tools, by welding a tungsten carbide coat on their surfaces.

During the tunnelling operations, the ISEKI company introduced a new design of a Unclemole cutterhead. The main priority of this design lies in the easier replacement of cutting tools, which are no longer composed from individual cutting tools installed through the rotational cutting arms. Instead, there are groups of smaller tungsten inserts soldered to small bit holders,

stanici ② v ose budoucí ražby. To by při daném návrhu znamenalo obdélníkové jámy přetransformovat na jámy lichoběžníkové a řešit každou z nich individuálně podle lomené čáry projektované osy kanalizace. Nakonec bylo tedy rozhodnuto použít kruhové stavební jámy pažené pomocí rámu z důlní výztuže K21 a pažin UNION (obr. 8). Toto řešení se v praxi osvědčilo.

V rámci přípravy pro budoucí ražbu je nutné, v prostoru za tlačnou stanicí ⑪ a v prostoru budoucí ražby ⑫, odstranit ocelové pažnice. Po odstranění pažnic v prostředí zvodněných šterků dochází k okamžitému sesuvu šterku do prostoru šachty. Za tlačnou stanicí lze této situaci předejít tím, že se nejprve vybetonuje monolitická opěrná stěna a pažiny UNION se odstraní až po jejím částečném zatuhnutí (příp. se každá druhá pažnice zachová). V prostoru před ražbou se šterk musí stabilizovat předrážením pažin UNION na hloubku cca 1 m a zhotovením jehlového deštníku z betonářské výztuže $\varnothing$ 20 mm na délku přibližně 2 m.

V některých případech byl navíc prostor nad ražbou injektován polyuretanovou pryskyřicí, která poté eliminovala rozvolnění šterku za ostěním a vnikání výplachu do stavební jámy při prvních metrech ražby.

Důsledky ražby v tvrdých horninách

Protože geologie na stavbě ÚKS je značně proměnlivá, nasazení čistě zeminových nebo čistě skalních MTBM není možné. Proto jsou používány maximálně univerzální stroje ISEKI Unclemole. Ty jsou ovšem pouze poloskalní, navržené do hornin s pevností v prostém tlaku maximálně 50 MPa. Zhotovitel se však často nachází v prostředí výrazně pevnějším, což má přirozeně značně negativní dopad jak na řeznou hlavu, tak i na celé další příslušenství včetně například elektrocentrály ⑩, která sice není s pevnou horninou přímo v kontaktu, ale musí pracovat při zcela jiném stupni zatížení.

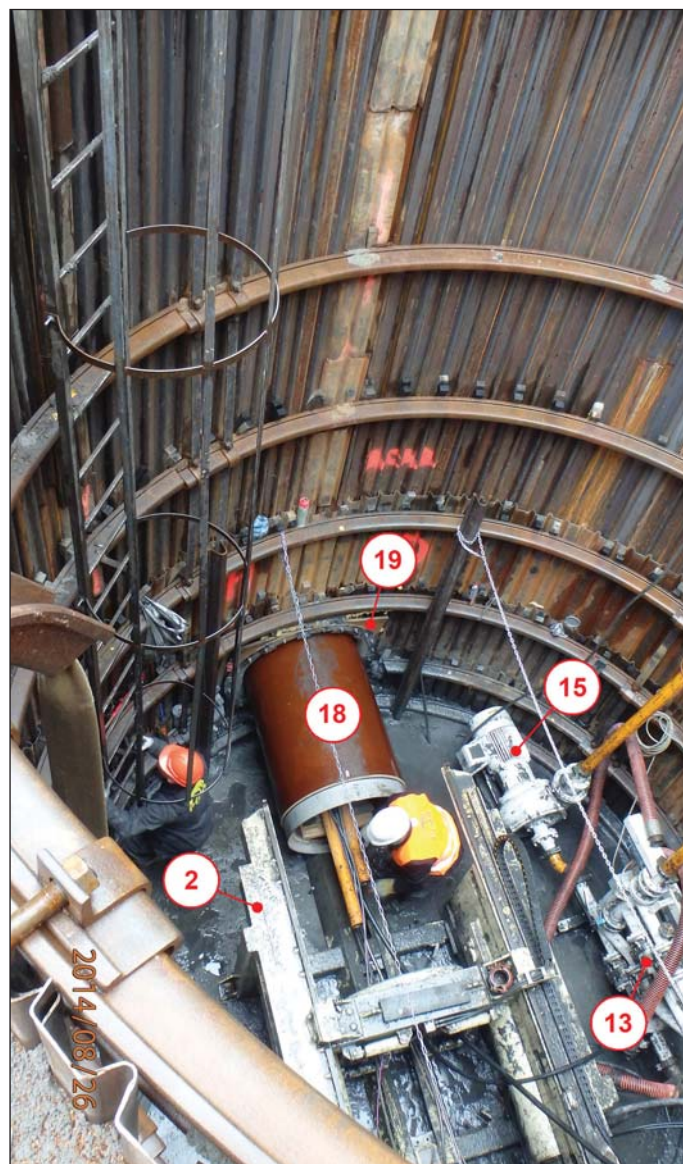
Řezná hlava, která v běžných podmínkách dokáže bez nutnosti větších oprav vyrazit přes 1 km, na této stavbě prochází kompletní renovací po každém vyraženém úseku (tj. každých cca 50 m). Při drcení skalních hornin v drtiči navíc dochází k tvorbě velmi jemného prachu s extrémní abrazivitou, což má dva významné negativní důsledky.

Obrusnost křemičitého prachu způsobuje destrukci výplachového potrubí, separačních sítí ⑥, trychtýřů hydrocyklonu ⑤, čerpadel, obtokových soustav ⑬ ⑭, ložisek, ventilů, ale také například mechanického těsnění řezné hlavy ①, kde se náklady na jeho výměnu přibližně rovnají ceně nového osobního automobilu.

Jemnost křemičitého prachu zase způsobuje tzv. houstnutí výplachu – prach vznikající při drcení pevných kompaktních hornin je tak jemný, že se naváže na výplachové médium a dohromady vytvoří kaši. Při průchodu hydrocyklonem ⑤ v sekundární separaci pak nedochází k jeho odsředění a propadu na síta sekundární separace ⑥ a namísto toho putuje horní částí trychtýře společně s výplachovým médiem přímo do usazovací nádrže ④. Protože tento prach nelze z výplachu vyseparovat, dochází k jeho postupné akumulaci a po určité době se výplach znehodnotí a musí se vyměnit. Výměnu výplachu z důvodu houstnutí je nutné provádět i u ražby v běžném poloskalním prostředí, ovšem v periodě přibližně 1–2x za měsíc, kdežto v prostředí bulizníků a prokřemenělých břidlic je nutné tuto výměnu provádět každý den. Odstranění výplachu z odkalovacích nádrží ④ se provádí pomocí sacího bagru, jedná se tedy o operaci značně nákladnou.

Optimalizace řezných dílů

Geologie zájmové lokality se mění prakticky každým metrem – břidlice (místa měkká, naprosto zvětralá; místa kompaktní, silně prokřemenělá) se střídá se šterky obsahujícími bulizníky velmi vysokých pevností. Takto rozmanitá geologická situace



Obr. 8 Pohled do startovací šachty

Fig. 8 A view down the launching shaft

which can be easily replaced from the front end of the machine. Thanks to this fact, it is not necessary to dismantle the moving central part of the cutterhead, which means that the time-consuming and economically demanding necessity for lapping the mechanical seal & slip ring during each repair of the cutterhead ceases to exist.

The geometry of cutting tools themselves is continually optimised on the basis of continuously assessing the machine behaviour and its level of wear in particular excavated sections. The difference between a new cutter and cutters dismantled from the cutterhead after the completion of a ca 70m long section is obvious from Fig. 10. (The excavated cross-section decreases with the wearing of the circumferential cutters. As a result, the friction force acting on the pipeline being jacked increases. In addition, the tungsten carbide tips broken off from the bits damage the integrated crusher.)

Because of the fact that the crusher gets clogged with chert boulders, 2/4 of the cutterhead operating in these geological conditions are provided with overlapping steel sheets with cutting tools on them (in substance, it is the case of the changeover of the cutterhead from the TCC to the TCC-R – see Fig. 4).

Maintaining the vertical alignment of the route

As mentioned above, nearly the entire route passes through an interface between two completely different materials. If the

představuje extrémní zátěž zejména pro řeznou hlavu. Je tedy nezbytné ji prakticky neustále optimalizovat podle aktuální geologické situace.

První změnou oproti klasickému uspořádání řezné hlavy TCC bylo osazení bočních výztužných ramen. Tato úprava byla převzata po pozitivních zkušenostech z předešlé etapy. Dále bylo nutné všechny exponované části důkladně ovařit tvrdokovem. Jednalo se zejména o čelní břit razicího stroje, drtič (jak pevnou, tak i rotační část) a řezná dláta.

Společnost ISEKI provedla v průběhu ražby návrh nové razicí hlavy Unclemole. Hlavní přednost nového designu spočívá ve snadnější výměně řezných dlát, která již nejsou tvořena jednotlivými řeznými nástroji osazovanými skrz otočná ramena, ale skupinami menších řezných hrotů naletovaných na ocelových destičkách, které lze snadno osadit z přední strany stroje. Díky tomu není nutné při výměně dlát demontovat pohyblivou středovou část řezné hlavy, čímž odpadá časově i ekonomicky náročná nutnost lapování mechanického těsnění při každé opravě řezné hlavy.

Tvar samotných řezných dlát je neustále optimalizován na základě průběžného vyhodnocování chování stroje a způsobu jeho opotřebení po jednotlivých ražených úsecích. Rozdíl mezi novým dlátem a dláty demontovanými z řezné hlavy po vyražení cca 70 m je zřejmý z obr. 10 (obrušováním obvodových dlát se zmenšuje průměr výrubu, čímž se zvětšuje třecí síla na protlačované potrubí; vylomené hroty z tvrdokovu navíc poškozují integrovaný drtič).

Protože ve štěrčích dochází k zahlcování drtiče balvany bulizníku, je v této geologii nutně prováděno přepřátování 2/4 řezné hlavy ocelovými plechy s řeznými dláty (v podstatě jde o přestavbu řezné hlavy TCC na TCC-R – obr. 4).

Udržení výškového vedení trasy

Jak již bylo řečeno, téměř celá trasa prochází rozhraním dvou zcela odlišných materiálů. Pokud je v trase přechod z jednoho geologického prostředí do druhého velmi pozvolný, má stroj tendenci sledovat vrstvu měkčího materiálu a stává se neřiditelným – dochází k propadání stroje, nastupávání po tvrdé vrstvě, zatlačení stroje, apod. Řešení těchto případů se odvíjí od polohy MTBM vůči stavební jámě. Mají však jedno společné – jsou ekonomicky i časově velmi náročné.

Pokud k výše popsanému dojde během prvních cca 12 m ražby, je možné se strojem vycouvat. Razicí stroj ① se připevňuje k tlačné stanici řetězy ②, ta se zapře o vstupní prstenec ③ dřevěnými hranoly a zpětným chodem se začnou již zatlačené kanalizační trouby ④ vytlačovat ven. Při tom všem je nutné k hlavě stroje přivádět výplachovým potrubím směs cementu a bentonitu, která kontinuálně zaplňuje volný prostor před řeznou hlavou, a tím ji stabilizuje. Po vytažení stroje se cementobentonitová suspenze nechá vytvrdnout a ražba se zopakuje.

V případě, že MTBM nedokáže udržet potřebný směr v blízkosti cílové jámy, lze postupovat tak, že se ražba dokončí, poté se konvenční metodou provede zpětná štola, potrubí se dodatečně vyrovná do požadované polohy a zalije se popílkocementovou suspenzí.

Pokud se stroj stane neřiditelným daleko jak od startovací, tak i cílové jámy a není pod zastavěným územím, je nejvýhodnější vyhloubit dočasnou stavební jámu, stroj urovnat a zeminu/horninu před strojem vhodným způsobem upravit (tvrdý materiál odsekát a vytvořit zálom, do kterého stroj již dokáže vniknout; měkký materiál prolít jílocementovým mlékem; apod.).

Jistý vliv na udržování stroje v požadovaném směru je dán i průměrem výrubu. Standardně se řezná dláta osazují tak, aby v krajní poloze eliptického pohybu přesahovala plášť MTBM

transition from one geological environment to the other one is very slow, the machine tends to follow the weaker material layer and becomes non-steerable – the machine sinks, ascends along the hard layer, is pushed etc. Solving these cases depends on the MTBM position in relation to the shaft. However, they have something in common – they are very demanding in terms of economy and time.

If the above-mentioned situation appears during the excavation of initial ca 12m, it is possible to reverse the machine. The tunnel boring machine ① is fixed to the jacking rig ② with chains, the rig is braced against the entry ring ③ with timber beams and the already completely pushed-in sewerage tubes ④ start to be pushed out by applying reverse gear. However, it is necessary during this operation to supply a cement-bentonite mixture to the cutterhead through the slurry pipeline. The mixture continuously fills the free space ahead of the cutterhead and stabilizes it. When the machine is pulled out, the cement-bentonite suspension is left to harden and the excavation is repeated.

In the case that the MTBM is not able to maintain the required direction in the vicinity of the reception shaft, it is possible to proceed and finish the excavation; a back-gallery is carried out subsequently, using a conventional method. The pipeline is then aligned to the required position and is backfilled by cinder-cement suspension.

If the machine becomes non-steerable far from both the launching shaft and the reception shaft and is not located under a built-up area, the most advantageous solution is to dig a temporary shaft, align the machine and modify the earth/rock ahead of the machine in a suitable way (cut the hard material away and create an indentation, which the machine will be able to enter; to drench the weak material with fluid cement; etc.).

The diameter of the excavated opening is an additional element in maintaining the required direction of the machine. As a standard, cutting tools are mounted to protrude 8mm beyond the extreme position of the elliptic motion. This “technological overbreak” is filled with the lubrication suspension; it serves mainly to reduce the skin friction. At shorter sections, where driving through an interface is expected, it is sometime reasonable to use ground down circumferential bits. The empty annulus around the MTBM is thus reduced and the stronger clutching of the machine by surrounding soil leads to more accurate guidance and, respectively, to a more sensitive response to changes in the tilt of the steerable head. Logically, the skin friction is increased in this way and such approach is possible to apply only to short sections.

Driving on the interface between gravel-rock layers

A totally specific situation occurs in the environment formed by two horizontal layers, where the upper half and the lower half of the excavation is occupied by gravel and hard schist, respectively. In such case, it is practically impossible to achieve the state of equilibrium at the heading because the necessary pressure into the upper gravel part can be transferred neither by slurry (the slurry leaks through the permeable gravel layer) nor by means of the pressure exerted on the cutterhead by the jacking rig ② via the tubes being jacked, because the cutterhead pushed itself against the rock layer at the bottom part of the excavation face. It occurs then that the gravel from the space above the machine is taken in instead of excavating the material in the space ahead of the cutterhead and a cavern develops above the pipeline being jacked. Apart from the future settlement of the overburden, a cavern above the MTBM makes it impossible to steer the machine which is no more loaded in the crown and the



Obr. 9 MTBM TCC ① po dokončení ražby
Fig. 9 MTBM TCC ① after the completion of excavation

o 8 mm. Tento „technologický nadvýrub“ je vyplňován lubrikační suspenzí a slouží především ke snížení pláštového tření. U kratších úseků, kde se předpokládá ražba skrz geologické rozhraní, je někdy výhodné provádět ražbu s obroušenými obvodovými zuby. Volný prostor po obvodu MTBM se tak redukuje a pevnější sevření stroje okolní zeminou způsobuje jeho přesnější vedení, respektive citelnější odezvu na změnu náklonu říditelné hlavy. Z logiky věci se tím ovšem zvyšuje pláštové tření a tak se toto opatření dá použít opravdu pouze u krátkých úseků.

Ražba na rozhraní vrstev štěrku - hornina

Naprostě specifická situace nastává v prostředí dvou horizontálně uložených vrstev, kde horní polovinu čelby zaujímá štěrk a dolní polovinu pevná břidlice. V takovém případě je prakticky nemožné dosáhnout rovnovážného stavu na čelbě, neboť vnesení potřebného tlaku do horní štěrkové části nelze provést výplachem (výplach skrz propustnou štěrkovou vrstvu uniká), ani pomocí tlaku vnášeného na řeznou hlavu tlačnou stanicí ② přes protlačovací trouby, jelikož se řezná hlava zapírá o skalní vrstvu ve spodní části čelby. Dochází pak (namísto odtěžování materiálu z prostoru před řeznou hlavou) k přibírání štěrku z prostoru nad strojem a vytváření kaverny nad protlačovacím potrubím. Kaverna nad MTBM kromě budoucího sedání nadloží způsobuje i jeho neřiditelnost, neboť stroj už není v koruně zatížen a má tak přirozeně tendenci stoupat bez ohledu na natočení jeho říditelné hlavy.

machine tends to naturally ascend without respect to the to the turning of the steerable cutterhead.

We try to eliminate this undesirable and possibly even dangerous phenomenon by the use of specially designed slurry consisting of water, bentonite and polymers (instead of water flush used as a standard) and, subsequently, by applying the TCC-R cutterhead. As mentioned above, when encountering a gravelly terrace with chert boulders is expected, it is recommendable to close 2/4 of the cutterhead. In this way, the effective cutting area necessary for the disintegration of the rock layer is increased and, at the same time, the area through which the material is pushed to the grinder is reduced. Apart from the prevention against the clogging of the crusher, the stability of the gravel layer in the heterogeneous environment is increased in this way. On the downside, this modification has a negative influence on the excavation rate because of the fact that the machine is not capable of taking so much material in as in the case of a more open configuration of the cutterhead.

Despite the fact that the above-mentioned measures have a positive influence on the excavation, they are not able to prevent the undesired phenomenon completely. Longer sections of the excavation through this interface in particular (without the preceding elimination of the heterogeneity of the geological series of layers by means of expensive grouting) are completely infeasible.

CONCLUSION

It is obvious that the realization of the second stage of the Úslava Interceptor Sewer Project is something absolutely exceptional in the field of microtunnelling. This otherwise very effective method, capable of daily advance rates as much as several tens of metres, runs into problems here associated with the basic condition of its effective application – a homogeneous geological environment. MTBMs (irrespective of the manufacturer) have virtually no problem with any geology under the condition that it does not vary along the route. The cutterhead is simply adapted only to this particular type (the installation of peeling cutters in clay and sand, cutting tools in weak rock and disk cutters in rock).

Thanks to the use of top Japanese machines of the Unclemole type, which currently belong among the most universal machines, the application of this method is not impossible even in a heterogeneous geological environment, which is absolutely unsuitable for microtunnelling. However, its effectiveness disappears. The time required for the excavation of each metre increases and so do the consumption of materials (bentonite, lubrication oils, fuels) and the cost of repairs, maintenance and the machine operation itself.



Obr. 10 Obroušená boční obvodová řezná dláta
Fig. 10 Ground-down peripheral cutters

Tento nežádoucí, a dalo by se říct i nebezpečný jev je možné eliminovat jednak použitím speciálně navrženého výplachu tvořeného směsí vody, bentonitu a polymerů (namísto standardně používaného vodního výplachu) a pak nasazením řezné hlavy TCC-R. Jak již bylo uvedeno výše, při předpokladu zastižení šterkovité terasy s balvany bulžníku je výhodné řeznou hlavu ze 2/4 uzavřít. Tím dojde ke zvětšení účinné řezné plochy nutné k rozměšování skalní vrstvy a zároveň ke zmenšení plochy, skrz kterou je materiál tlačěn do drtiče. Kromě prevence před zahlcovaním drtiče bulžníky se tak i zvyšuje stabilita šterkové vrstvy v nehomogenním prostředí. Z logiky věci ovšem také vyplývá, že má tato úprava negativní vliv na rychlost ražby, neboť stroj není schopen přibírat tolik materiálu, jako při více otevřeném uspořádání řezné hlavy.

Ačkoli výše popsaná opatření mají na ražbu pozitivní vliv, nežádoucímu jevu plně zamezit nedokážou, a tak jsou zejména delší úseky tímto rozhraním (bez předchozí eliminace nehomogenity geologického souvrství nákladnou injektáží) technologií mikrotuneláže zcela neproveditelné.

ZÁVĚR

Je patrné, že výstavba druhé etapy Úslavského kanalizačního sběrače je v oblasti mikrotunelování něčím zcela mimořádným. Tato jindy velmi efektivní metoda s pracovními postupy i několik desítek metrů za den zde naráží na problémy spojené se základní podmínkou jejího efektivního použití, kterou je homogenita geologického prostředí. MTBM (bez ohledu na výrobce) totiž nemá problém prakticky s jakoukoli geologií, pakliže se po trase nemění. Řezná hlava se zkrátka jen přizpůsobí na daný typ (osazení loupacích nožů v jílech a píscích, řezných dlát v poloskalních horninách a valivých dlát ve skalním prostředí).

Díky použití špičkových japonských strojů typu Unclemole, které patří k nejuniverzálnějším strojům současnosti, není ani v tomto geologickém prostředí, pro mikrotunelování naprosto nevhodném, použití této metody nemožné, ale její efektivita se zcela vytrácí. Čas potřebný pro vyražení každého metru neúměrně vzrůstá a společně s tím i spotřeba hmot (bentonity, mazací oleje, pohonné hmoty, ...) a náklady na opravy, údržbu i samotný provoz stroje.

Z dosavadního průběhu lze vyčíst, že provedení podrobného geologického průzkumu již v období projektové přípravy je u této metody důležitější než u konvenčních razicích metod. Díky provedení doplňkového geofyzikálního měření v ose ražby je nyní alespoň možné účinněji predikovat geologickou skladbu jednotlivých úseků a provádět tak, ve spolupráci se zástupci společnosti ISEKI, individuální optimalizaci řezné hlavy přesně na míru pro každý ražený úsek.

Ing. TOMÁŠ ZÍTKO, zitko@pohl.cz,
POHL cz, a.s.

Recenzovali: prof. Ing. Josef Aldorf, CSc., Ing. Igor Fryč



Obr. 11 Oprava řezné hlavy ①

Fig. 11 Cutterhead repair ①

It is possible to conclude from the development to date that the execution of a detailed geological survey as early as during the design preparation period is more important for this method than for conventional tunnelling methods. Owing to the execution of supplemental geophysical measurements along the future tunnel centre line, it is now at least possible to predict the geological structure of individual sections more effectively and carry out, in cooperation with ISEKI representatives, the precisely tailored individual optimization of the cutterhead for each mined section.

Ing. TOMÁŠ ZÍTKO, zitko@pohl.cz,
POHL cz, a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- RÜCKL, M. *Úslavský kanalizační sběrač – 2. etapa, 1. fáze. Závěrečná zpráva geofyzikálního průzkumu*. Praha: Samson Praha, spol. s r.o., leden 2015
- PEKO, M. *Plzeň Božkov – Koterov, Úslavský kanalizační sběrač – 2. etapa, inženýrskogeologický průzkum. Závěrečná zpráva*. Pardubice: SUDOP Pardubice, s. r. o., září 2011
- ISEKI *Microtunnelling. Typical Head Armouring*. Drg. M41020, Revised: LM, Date: 5. 6. 2013. Rev. No. 2 & TCC-R Cutter/Crusher Head on TCC OD980, Drg. M41095, Revised: LM, Date: 14. 11. 2013, Rev. No. 2. Specialist Plant Associates Limited, Hinwick NN29 7JQ

ZAVÁŽENÍ TRUBEK GRP DO ŠTOL MALÝCH ROZMĚRŮ TRANSPORTING GRP TUBES THROUGH SMALL-SIZE GALLERIES

JAROMÍR ZLÁMAL

ABSTRAKT

Při ukládání kanalizačního potrubí GRP (Glass Reinforced Plastic) do štol malých rozměrů se zhotovitel snaží nepoškodit trubky, nechat ve štole žádné přídatné technologické zařízení a snadno je spojit s malým počtem pracovníků. Hmotnost trubek se pohybuje často v hodnotách stovek kilogramů, proto zhotovitel dila navrhuje takové řešení, které je bezpečné, ekonomické a časově nenáročné. V článku se uvádí zavážení v extrémně malém prostoru proplachovacího kanálu DN 1500 v Praze – Holešovicích/Karlíně/Libeň, v kanalizačním sběrači DN2000 v Praze-Troji a ve štole s ostěním z LB2-K21 v Dolních Počernicích.

ABSTRACT

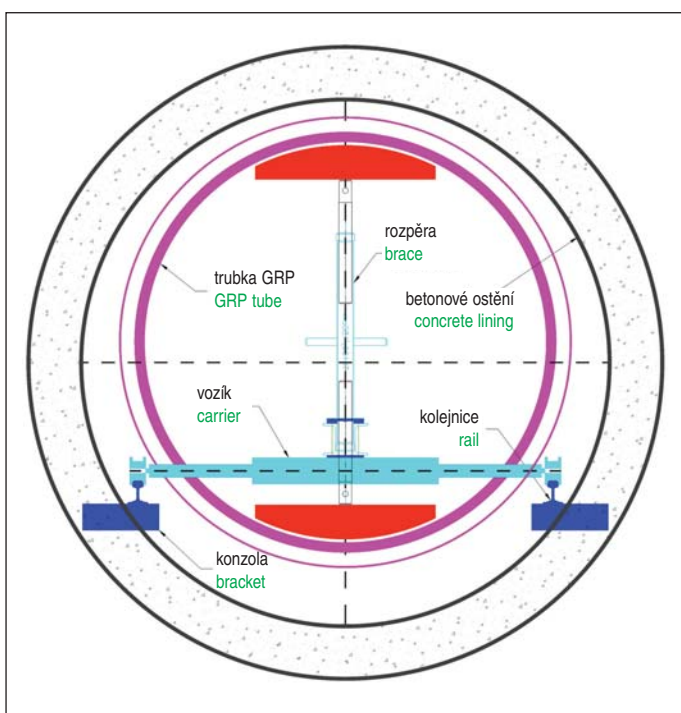
When GRP tubes are being installed in small-size galleries, the contractor takes pains not to damage them, not to leave additional technological fittings in the gallery and to join the tubes using a small number of workers. The weight of tubes ranges within the values of hundreds of kilograms, which is the reason why the contractor proposes such solutions which are safe and undemanding in terms of economy and time consumption. This paper discusses the issue of transporting the tubes through the extremely constrained space of a DN 1500 flushing duct in the Prague districts of Holešovice/Karlín/Libeň, a DN 2000 sewer interceptor in the Prague district of Troja and in LB2-K21' lined gallery' in the Prague municipal district of Dolní Počernice.

ÚVOD

Zavážení trubek o hmotnosti větší než 400 kg do štol malých rozměrů je technický problém, který se zhotovitel snaží vyřešit tak, aby se při zavážení nepoškodily trubky a aby se ve štole nezanechalo žádné přídatné technologické zařízení. Zavážení a spojování trubek je nutné realizovat s malým počtem pracovníků. Typ štol, druh a rozměry potrubí jsou pro každou stavbu různé a je nutné vždy hledat nejvhodnější řešení. Na třech případech jsou uvedeny příklady z realizovaných staveb.

ZAVÁŽENÍ A SPOJOVÁNÍ TRUBEK GRP

Firemní literatura uvádí zavážení trubek jako například v Hamburku metodou s použitím zabudovaných kolejnic do



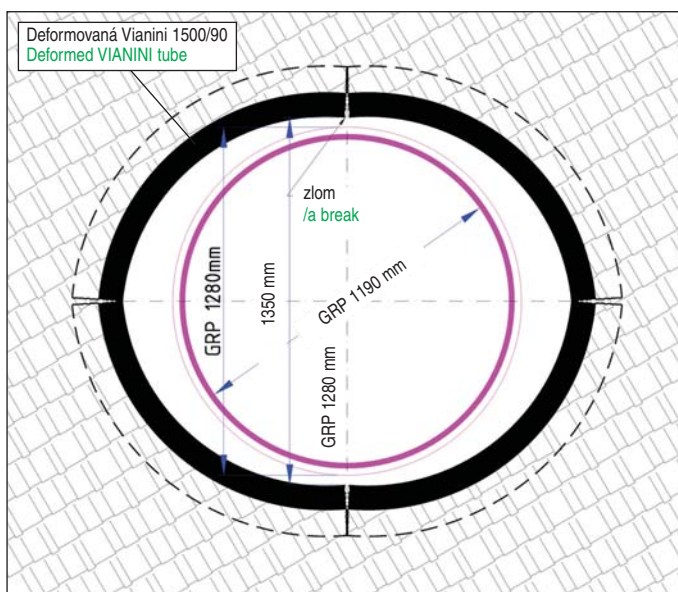
Obr. 1 Zavážení trubek GRP pomocí kolejové drážky
Fig. 1 Transporting GRP tubes by the carrier on the rails

INTRODUCTION

Transporting tubes with the weight exceeding 400kg through small-size galleries is a technical problem. The contractor tries to solve it in ways preventing any damage during the course of the transport and leaving no additional technological fittings in the gallery. It is necessary for transporting and joining the tubes to be carried out by a small number of workers. The types of galleries and the types and dimensions of tubes are different for each project and it is always necessary to seek the most suitable solution. There are presented three examples of completed projects.

TRANSPORTING AND JOINING GRP TUBES

Company brochures present as an example transporting the tubes in a gallery in Hamburg. Rails are installed in the gallery profile; they have to be fixed to the gallery lining. The transporting carrier is fixed inside the tube and the tube is shifted with a small force to the place of destination (see Fig. 1). Another



Obr. 2 Deformovaná trubka Vianini
Fig. 2 Deformed Vianini tube



Obr. 3 Odstraňování trubek Vianini v jámě hluboké 10,5 m
Fig. 3 Removing Vianini tubes in a 10.5m deep pit

ostění štoly. Kolejnice musí být upevněny do ostění štoly, zavážecí vozík je upevněn uvnitř trubky a trubka je malou silou posouvána na místo určení (obr. 1). V Praze se ve třech případech použila jiná metoda zavážení trubek GRP.

PROPLACHOVACÍ KANÁL MEZI TĚŠNOVEM A LIBNÍ

Mezi Těšnovem a Libní byl v minulosti vybudován proplachovací kanál, který zajišťuje dopravu čerstvé vltavské vody z Halmovského jezu u Hlávkova mostu do Libeňského přístavu. Přes dva kilometry dlouhý kanál je z hrdlových trubek Vianini 1500/90 mm délky 3 m.

V některých úsecích proplachovacího kanálu došlo k prolomení klenby trubek Vianini v délce přibližně 15 m (svislý rozměr v nejvíce prolomeném místě měl místo 1500 mm pouze 1350 mm) a na mnoha místech byly zaznamenány úniky vody do okolní zeminy (obr. 2, 3).

Proplachovací kanál je umístěn vedle ulice Pobřežní v hloubce cca 10 m. Voda z Vltavy netěsnostmi potrubí

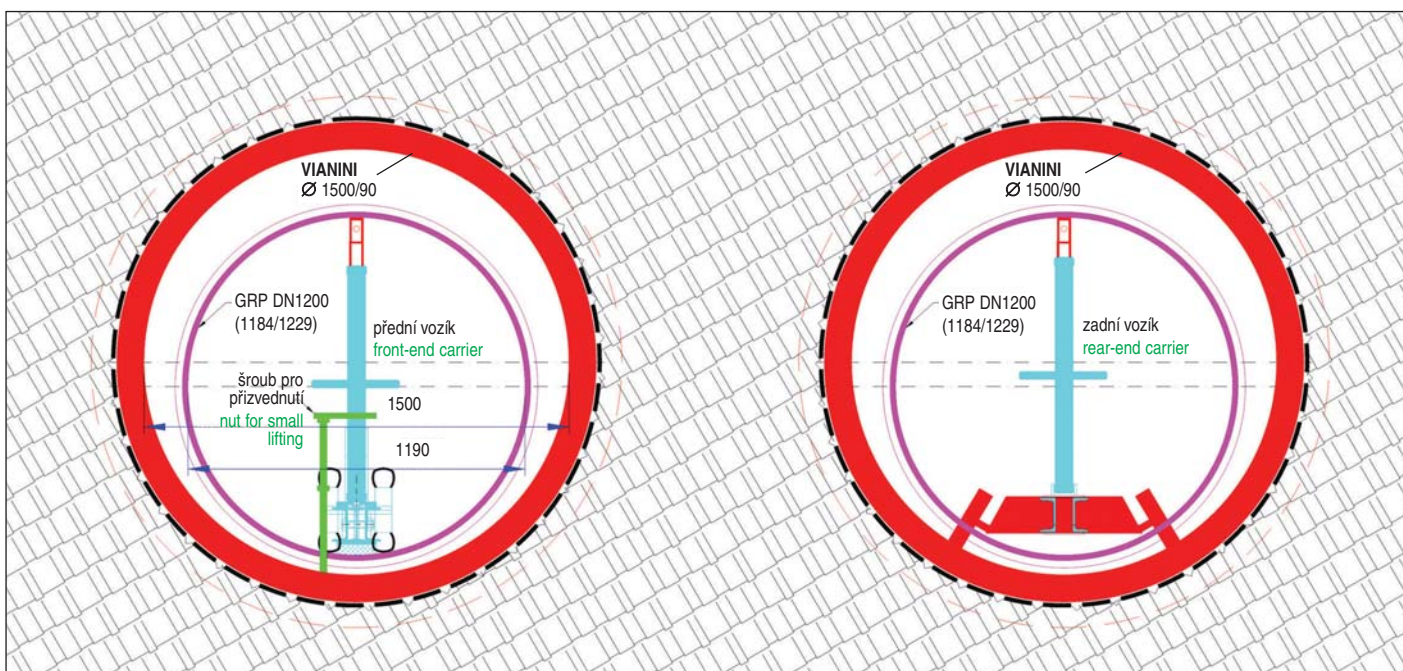


Obr. 4 Pohled na přední část vozíku
Fig. 4 A view of the front-end part of the carrier

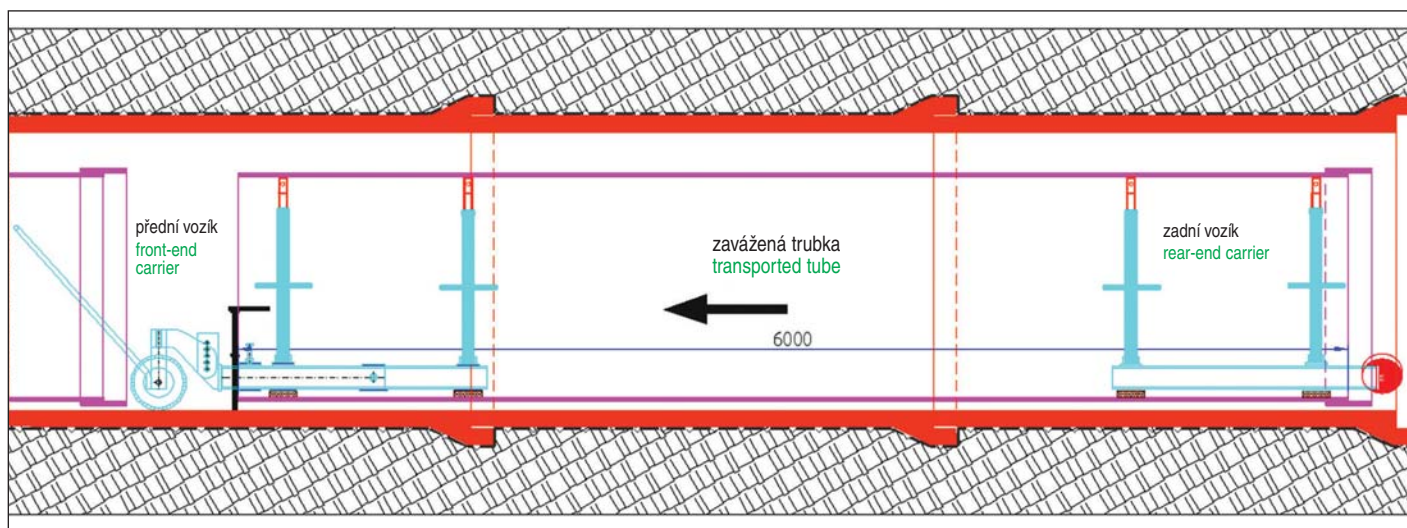
method of transporting GRP tubes was used in three cases in Prague.

FLUSHING DUCT BETWEEN TĚŠNOV AND LIBEŇ

A flushing duct securing the transport of fresh Vltava River water from the Halmovský weir near the Hlávkův Bridge to the Libeň harbour was built in the past between Těšnov and the



Obr. 5 Zavážení trubek GRP v nedeformované trubce Vianini (přední a zadní vozík)
Fig. 5 Transporting GRP tubes through a non-deformed Vianini tube (the front-end and rear-end carriers)



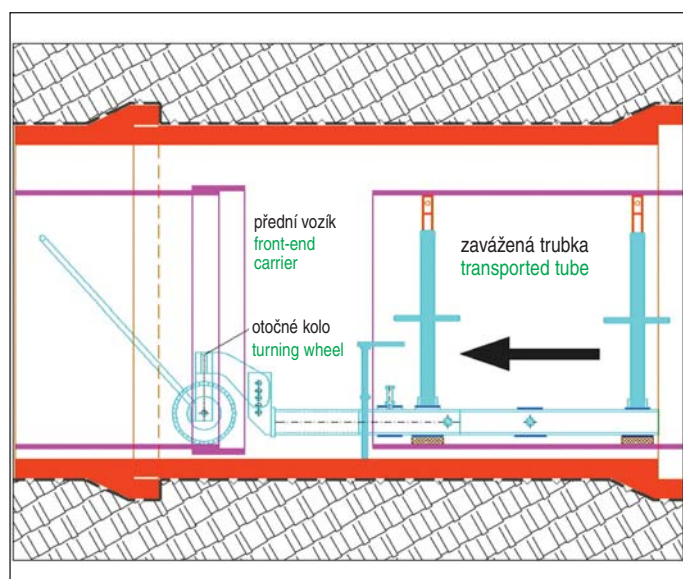
Obr. 6 Zavážení trubek GRP – proplachovací kanál
Fig. 6 Transporting GRP tubes into the flushing duct

pronikala do kanálu, v období sucha naopak voda z kanálu unikala z potrubí ven. Uživatel se proto rozhodl do stávajících trubek Vianini vložit trubky GRP DN1200 (1185/1229) SN5000 dl. 6000 mm. Hmotnost jedné trubky je 1044 kg. Kanál byl tímto způsobem opraven v délce 800 m. Prostor mezi trubkami GRP a Vianini byl vyplněn cementopopílkovou záplivkou. Pro zavážení trubek byl vyvinut zavážecí vozík.

Popis zavážecího vozíku

Pro zavážení trubek GRP bylo navrženo zařízení sestávající ze dvou částí, předního a zadního vozíku. Oba vozíky jsou do trubky GRP vloženy a upevněny ocelovými rozpěrnými stojkami s trapézovým závitem. Do trubky GRP se opírají přes ocelové měsíčkovité opory o rozměru 80/600/R=600 mm. Tento rozměr měsíčkových opěr je navržen tak, aby při dotažení nedošlo k protáčení opěr a aby při předepnutí nedošlo k deformaci trubky.

Přední vozík tvoří tubus ze dvou U č. 120 dl. 1475 mm svařených spojovacími plechy tl. 10 mm na distančních podložkách. Do tohoto tubusu se zasunuje I č. 120 dl. 2688 mm, které je s tubusem pevně spojeno šrouby Ø 25 mm. Na předním konci I č. 120 je připojen otočný držák kol s řídicí ojkou,



Obr. 7 Spojování trubek GRP – proplachovací kanál
Fig. 7 Joining GRP tubes – the flushing duct

municipal district of Libeň. The over two kilometres long duct is made up of 3.0m Vianini 1500/90mm socket tubes.

In some sections of the flushing duct, the roof of the Vianini tubes fell at the lengths of approximately 15m (the vertical dimension in the worst damaged location was only 1,350mm instead of 1,500mm) and water leaks into the surrounding ground were registered in many locations (see Figures 2 and 3).

The flushing duct is located alongside Pobřežní Street, at the depth of about 10m. Water penetrated from the Vltava River, leaking through the tubes to the duct; conversely, it leaked out of the duct during dry seasons. The user therefore decided to insert 6,000mm long GRP tubes DN1200 (1174/1229) SN5000



Obr. 8 Zavážení trubek GRP – proplachovací kanál
Fig. 8 Transporting GRP tubes into the flushing duct



Obr. 9 Trubka GRP ve štolě – Troja
Fig. 9 GRP tube in the gallery – Troja

kteřou se usměřňuje jízda soupravy (obr. 4). Tubus není v potrubí umístěn vodorovně ale šikmo tak, aby kolo vozíku po příjezdu k dříve osazené trubce mohlo při vysunutí I č. 120 dosednout dovnitř předchozí dříve osazené trubky GRP.

Na spojovací plechy tubusu, které spojují U č. 120, jsou přivařeny krabičky o rozměru 72x72 mm z plechu tl. 8 mm, do kterých se usazují ocelové rozpěrné stojky. Jejich dotažením

tubes into the existing Vianini tubes. The weight of one tube is 1,161kg. The duct was repaired at the length of 800m in this way. The space between the GRP tubes and Vianini tubes was backfilled with cinder concrete. A carrier was developed for the transport of the tubes.

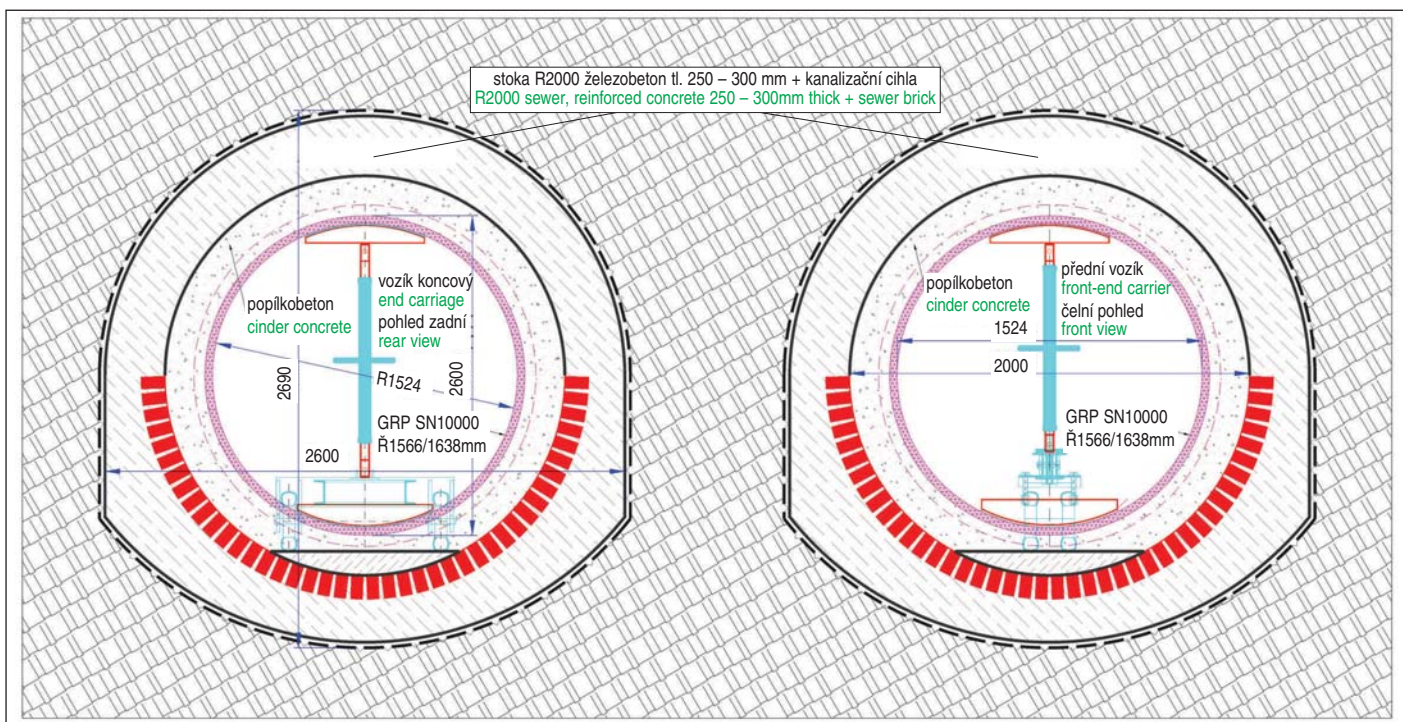
Transport carrier description

A facility consisting of two parts, a front-end carrier and a rear end carrier, was designed for the transport of GRP tubes into the duct. Both carriers are inserted into a GRP tube and are fixed with steel bracing props with trapezoidal threads. They are braced against the GRP tube through 80/600/R=600mm steel meniscal holds. This dimension of the meniscal holds is designed with the aim of preventing the props from slipping when they are being tightened and preventing the deformation of the tube when it is loaded by tightening the threaded props.

The front-end carrier is formed by a tubular appliance made up of two 1,475mm long U 120 sections welded together by means of 10mm thick connecting sheets, resting on spacers. A 2,688mm long I 120 section is shifted into this tubular appliance. It is firmly connected with it with 25mm diameter bolts. A turning holder of wheels with a carriage beam used for steering the movement of the set is connected at the front end (see Fig. 4). The tubular appliance position in the tube is inclined instead of horizontal so that the wheel of the carriage can fit closely into the previously installed GRP tube after the arrival to it, when the I 120 section is shifted ahead.

Small boxes 72x72mm from 8mm-thick steel sheet are welded to the connecting sheets of the tubular appliance. The steel bracing posts are placed into the boxes. By extending the posts in the GRP tube, the front-end carriage is firmly connected with the tube and the assembly is prepared for transport.

The rear-end carriage is also formed by a tubular appliance consisting of 1,428mm long U 120 sections, which are welded together by means of 10mm thick steel sheets. A 10mm thick vertical steel sheet connecting the U 120 sections is welded to the end of the tubular appliances. 25mm-diameter wheel spindles are welded to it. The wheels are positioned radially toward the Vianini tubes. The installation of the rear-end carrier in the



Obr. 10 Umístění vozíku a trubky GRP ve štolě výpusti z OK 4FE – Troja
Fig. 10 Position of the carrier and a GRP tube in the outflow from OK 4FE – Troja



Obr. 11 Trubky GRP před spojením – Troja
Fig. 11 GRP tubes before joining – Troja

do trubky GRP je přední vozík pevně spojen s trubicí a souprava je připravena k přepravě.

Zadní vozík je rovněž tvořen tubusem ze dvou U č. 120 dl. 1428 mm svařených plechy tl. 10 mm. Na konci tubusu z U č. 120 je přivařen svislý plech tl. 10 mm, který U č. 120 spojuje a na něm je přivařena osa kol Ø 25 mm. Kola jsou umístěna radiálně k potrubí Vianini. Upevnění zadního vozíku do trubky GRP je obdobné jako u předního vozíku (obr. 5).

Doprava a spojení trubek GRP

Do trubky se vloží oba vozíky a upevní se pomocí svislých rozpěrných stojek. Po důkladném dotažení trapézových závitů rozpěrných stojek jsou oba vozíky pevně spojeny s trubicí GRP a takto je souprava přepravována (obr. 6).



Obr. 12 Zavážení trubek GRP – Troja
Fig. 12 Transporting GRP tubes – Troja

GRP tube is similar to the installation of the front-end carrier (see Fig. 5).

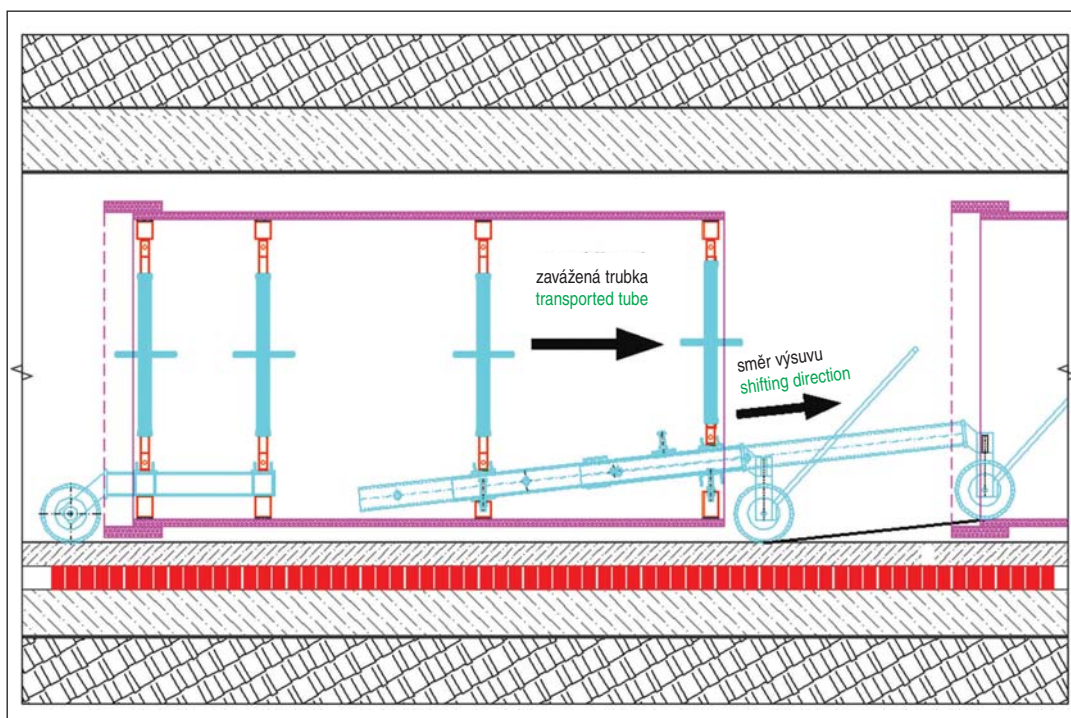
Transporting and joining GRP tubes

Both carriers are inserted into the tube and are fixed by means of vertical bracing props. After thorough tightening of the trapezoidal threads of the bracing props, the two carriers are firmly connected with the GRP tube. The set is transported in this form (see Fig. 6).

After the whole set arrives up to the distance of approximately 1650mm from the previously installed tube, the front-end carrier together with the tube is heaved by means of a jack, the

I 120 section is shifted into the previously installed tube and the I 120 section is firmly connected with the tubular appliance made from U 120 section in the new transportation position (see Figures 7 and 8).

The whole front-end part of the set is lowered down so that the front wheels fit closely in the previously installed GRP tube. After the wheels are in contact and the level of the tube is thoroughly adjusted by tightening the locking nuts on the front-end vertical turning spindle, the whole set is moved so that the socket of the GRP tube is in the close proximity of the previously installed tube. If the level and direction of the tube socket correspond to the level and direction of the previously



Obr. 13 Spojování trubek GRP – Troja, podélný řez
Fig. 13 Joining GRP tubes – Troja, longitudinal section

Po příjezdu celé soupravy k dříve osazené trubce na vzdálenost přibližně 1650 mm, se přední vozík i s trubicou pomocí panenky nadzvedne, I č. 120 s koly se vysune do dříve osazené trubky a I č. 120 se pevně spojí s trubicou z U č. 120 v nové přepravní poloze (obr. 7, 8).

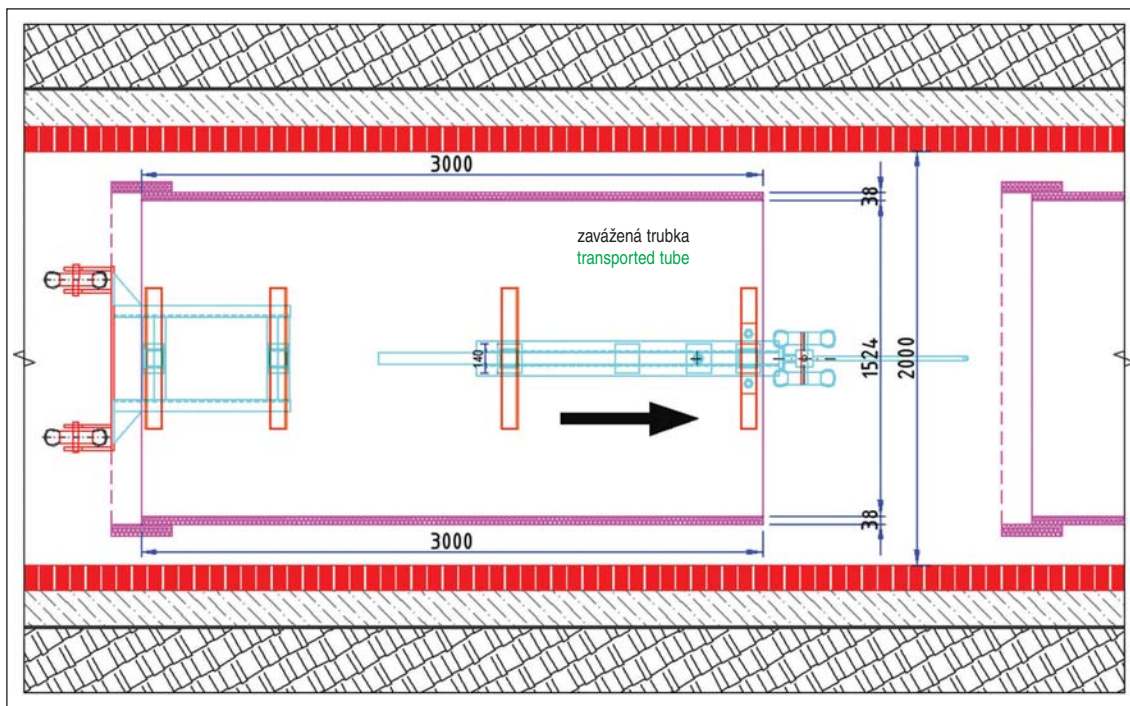
Celá přední část soupravy se spustí dolů tak, aby přední kola dosedla do dříve osazené trubky GRP. Po dosednutí kol a pečlivém urovňování výšky trubky nastavením dotažných matic na přední svislé

otočné ose se s celou soupravou popojede tak, aby hrdlo trubky GRP bylo v těsné blízkosti dříve osazené trubky. Pokud výška i směr hrdla trubky odpovídají výšce a směru dříve osazené trubky, pak je možno uskutečnit spojení trubek. Pokud je zjištěn výškový rozdíl mezi trubicami, matkami na svislé ose předního vozíku se výška trubek srovná. Pak je možno trubky GRP spojit. Zasunutí trubek do sebe se provede buď vrátkem, nebo jiným podobným zařízením, při dodržení bezpečnostních pravidel.

KANALIZAČNÍ SBĚRAČ V PRAZE-TROJI, STABILIZACE VÝPUSTI Z OK 4FE

V rámci výstavby tunelu městského okruhu (Blanka) byla provedena stabilizace výpusti z OK 4FE DN2000 mm v Praze-Troji trubicami GRP DN1600 (1566/1638) SN10000 délky 3000 mm (obr. 9). Hmotnost jedné trubky je 1161 kg. Stávající betonová stoka s cihelnou vyzdívkou byla opravena trubicami GRP v délce 392,4 m. Prostor mezi trubicami GRP a ostěním štoly výpusti byl vyplněn cementopopílkovou záplivkou. Pro zavážení trubek většího rozměru byl vyvinut nový zavážecí vozík obdobný jako u proplachovacího kanálu (obr. 10). Princip zavážení a spojování je uveden na obr. 11–14.

Před zavážením trubek se nejprve vybetonovalo dno štoly, aby zavážecí vozík



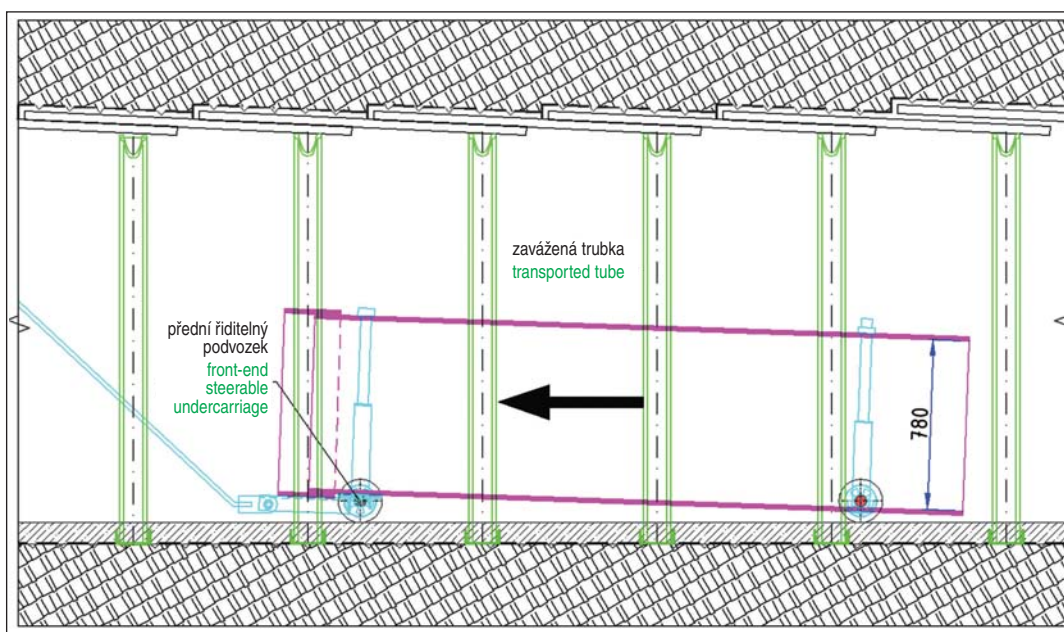
Obr. 14 Spojování trubek GRP – půdorys – Troja, půdorys

Fig. 14 Joining GRP tubes – ground plan – Troja, ground plan

installed tube, it is possible to join the tubes. If a difference in the levels of the tubes is determined, the levels are rectified by nuts on the vertical spindle of the front-end carrier. Subsequently it is possible to join the GRP tubes. The tubes are shifted into each other using either a winch or another similar appliance adhering to the safety rules.

INTERCEPTOR SEWER IN PRAGUE-TROJA; STABILISATION OF OUTFLOW FROM OK 4FE

The outflow from DN2000mm OK 4FE was stabilised within the framework of the tunnel on the City Circle Road (the Blanka complex of tunnels) in the Prague district of Troja using 3m long DN1600 (1566/1638) SN10000 GRP tubes (see Fig. 9). The weight of one tube is 1,296kg. The existing concrete sewer with brick cladding was repaired using GRP tubes at the length of



Obr. 15 Zavážení trubek GRP – Dolní Počernice

Fig. 15 Transporting GRP tubes – Dolní Počernice



Obr. 16 Zavázeční vozík připraven k přepravě bez trubek – Dolní Počernice
Fig. 16 Transportation carrier prepared for transportation without tubes – Dolní Počernice

projížděl s trubicí GRP po rovném podkladu. Na trubku se osadily ocelové pásnice, které umožnily rozepření trubky do stropu štol. Toto opatření zamezilo vyplavání trubky při zalévání prostoru mezi trubicí GRP a ostěním štolý popílkocementovou směsí.

Doprava a spojení trubek GRP

Do trubky se vloží oba vozíky a upevní se pomocí svislých rozpěrných stojek. Při důkladném dotažení trapézových závitů rozpěrných stojek jsou oba vozíky pevně spojeny s trubicí GRP a souprava je připravena k přepravě.

Trubky přepravovali tři pracovníci, jeden řídil a dva vzadu trubku tlačili. Tento způsob byl nejefektivnější a také bezpečný, po dobu dopravy se mohli pracovníci mezi sebou dorozumívat a reagovat na neočekávané situace.

Spojování trubek se provádělo stejným technologickým způsobem jako na proplachovacím kanále, zasunutí trubek do sebe se provádělo buď vrátkem, nebo jiným podobným zařízením, při dodržení bezpečnostních pravidel.

KANALIZAČNÍ SBĚRAČ „H“ V DOLNÍCH POČERNICÍCH

Pro kanalizační sběrač v Dolních Počernicích byla vyražena štola lichoběžníkového průřezu o ploše příčného řezu $3,27 \text{ m}^2$ v délce 821,8 m. Do štoly byla zavážena trubka GRP DN800 (778,5/819,9) SN10000 N/m² dl. 3000 mm, provozní tlak PN 1 (obr. 15). Hmotnost jedné trubky je 294 kg.

Kanalizace je navržena ze sklolaminátového potrubí vyráběného odstředivým způsobem po vrstvách s pryskyřicí, sekanými vlákny a křemenným pískem. Tento materiál byl zvolen z důvodu malého spádu na stoce 0,39 %. Hladký vnitřní povrch potrubí zlepšuje průtokové podmínky a je bezpečně zajištěna vodotěsnost potrubí. Trubky se spojují spojkami z gumových manžet uložených v zesilovacím kroužku ze sklolaminátu. Úseky v oblouku jsou provedeny z obloukových tvarovek s úhlem lomu menším než 30°. Pro zavážení byl ve štole větší prostor než v předchozích případech, proto byl použit jiný princip zavázečního vozíku.

Doprava a spojení trubek GRP

Vozík byl navržen velmi jednoduchý, aby jeho montáž na trubku netrvala dlouho (obr. 16). K trubce je upevněn upínacím popruhem, přední náprava je otočná kolem svislé osy. Na

392,4 m. The space between GRP tubes and the outflow gallery lining was backfilled with cinder concrete. A new transportation carriage, similar to that used at the flushing duct, was developed for transporting larger-size tubes (see Fig. 10). The transportation and joining principle is presented in Figures 11 – 14.

The concrete bottom of the gallery was cast prior to the transport of tubes into the gallery to provide a flat base for the passage of the carrier with a GPR tube. Steel flanges allowing for the bracing of the tube against the gallery roof were fixed to the tube. This measure prevented the tube buoyancy when the space between the GRP tube and the lining of the gallery was being backfilled with cinder concrete.

Transporting and joining GRP tubes

Both carriers are inserted into the tube and are fixed by means of vertical bracing props. After thorough tightening of the trapezoidal threads of the bracing props, the two carriers are firmly connected with the GRP tube and the set is prepared for moving.

The tubes were transported by three workers; one of them provided steering and two workers at the rear end pushed the tube ahead. This system was the most effective and also safe. The workers could inter-communicate and respond to unpredicted situations throughout the transportation period.

The tubes are joined together using a technological procedure identical with that used on the flushing duct. The tubes were shifted into each other either by means of a winch or by means of another similar appliance adhering to the safety rules.

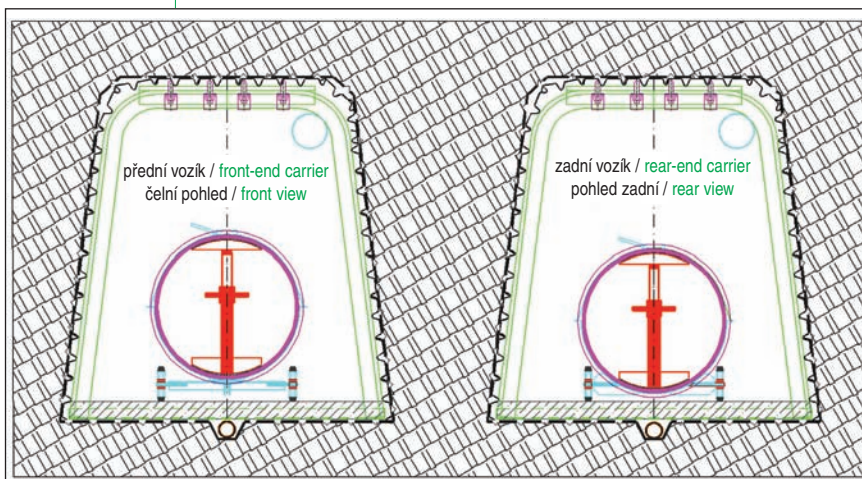
INTERCEPTOR SEWER "H" IN DOLNÍ POČERNICE

An 821.8 m long trapezoidal profile gallery with the cross-sectional area of 3.27 m^2 was driven for the interceptor sewer in the Prague district of Horní Počernice. GRP DN800 (778,5/819,9) SN10000 N/m² tubes 3,000 mm long, designed for the pressure PN1 (see Fig. 15), were transported into the gallery. The weight of one tube is 294 kg.

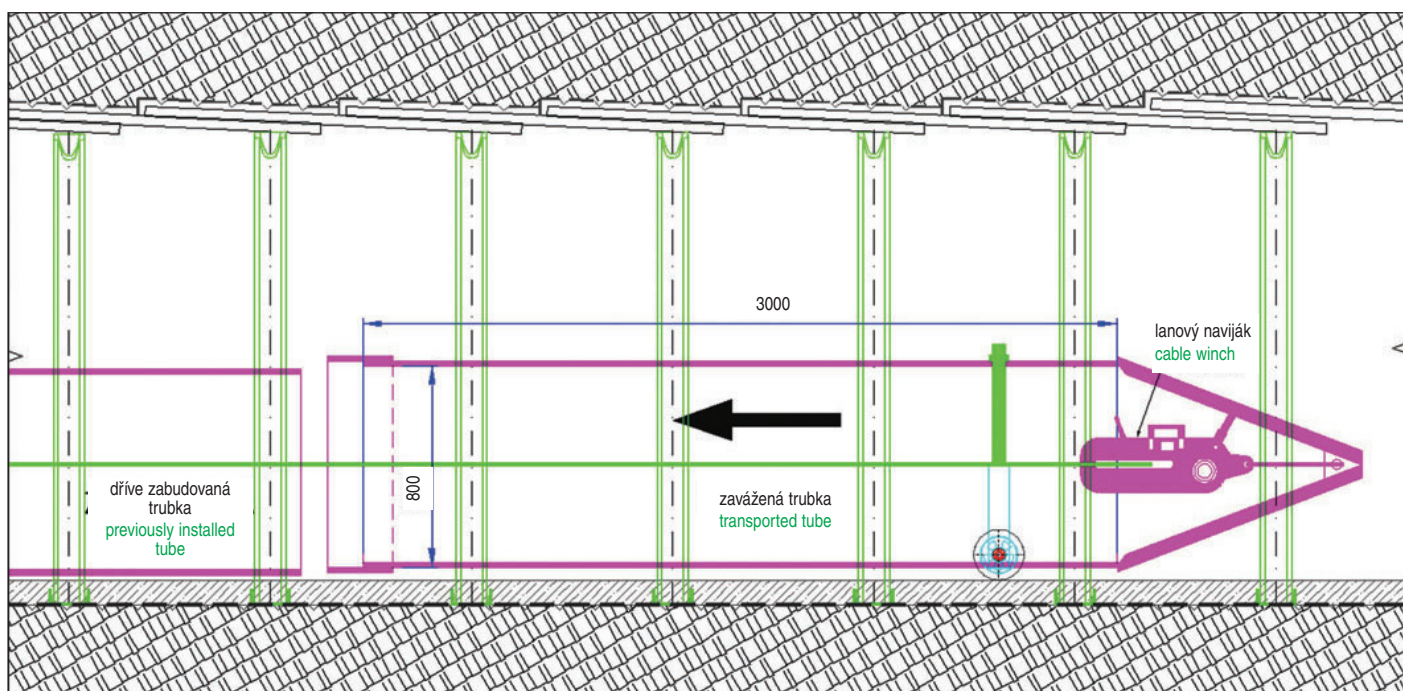
Glassfibre reinforced tubes cast centrifugally in layers consisting of a resin, chopped fibres and quartzose sand are designed for the sewer. This material was chosen with respect to the small gradient of 0.39% on the sewer. The smooth internal surface of the tubes improves the flow conditions and the water-tightness of the pipeline is safely secured. The tubes are joined by rubber manchettes placed in a reinforcing GRP ring. The sections located on curves are carried out from bends with the central angle smaller than 30°. The space in the gallery available for the transportation was larger than in the preceding cases. For that reason a different principle of the transporting carriage was applied.

Transporting and joining GRP tubes

The design for the carrier was very simple so that its mounting on the tube did not take long (see Fig. 16). It is fixed to the tube by a mounting strap; the front-end axle is rotational around a vertical axis.



Obr. 17 Umístění trubek GRP ve štole – Dolní Počernice
Fig. 17 Position of GRP tubes in the gallery – Dolní Počernice



Obr. 18 Spojování trubek GRP – Dolní Počernice

Fig. 18 Joining GRP tubes – Dolní Počernice

podlahu štoly byla položena vrstva betonu tl. 100 mm, která umožnila snadnou dopravu trubek na místo určení (obr. 17). Dopravu trubky prováděli v tomto případě pouze dva pracovníci.

Vzdálenost šachtic je 50 m, proto se spojování trubek provádělo lanovým navijákem (obr. 18). Mezi sousedními šachticemi bylo nataženo lano od šachtice k šachtici a silou lanového navijáku byly trubky do sebe zasunuty. Pro dopravení vozíku do stavební jámy se přední a zadní vozík spojily v jeden celek. Po uložení trubek se prostor mezi ostěním štoly a trubicí GRP zaplnil betonem C12/15.

ZÁVĚR

Na uvedených příkladech je vidět, že zavážet trubky do štol malých rozměrů je možné za pomoci speciálních zavážecích vozíků. Zvláštní návrh a úpravu vyžadují vozíky pro štoly s velmi stísněnými poměry. Vyřešení technických problémů při návrhu vozíků se však vyplatí, zavážení trubek probíhá bez problémů, s minimálními časovými nároky. Obsluha vozíků je jednoduchá. To zvláště ocení pracovníci v případech, kdy se trubky zavážejí na délku až 400 m. Tento způsob zavážení trubek nevyžaduje žádné speciální technologické operace uvnitř štol, jako je například zakotvení konzol pro kolejnice do ostění štoly a odstraňování kolejnic po zavedení trubky.

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

Recenzovali: Ing. Otakar Hasík, Ing. Dana Hadačová

A 100mm thick layer of concrete was poured on the gallery bottom to allow for the easy transportation of tubes to the destination (see Fig. 17). In this particular case, the transport of one tube was carried out only by two workers.

The spacing of shafts is 50m. For that reason the tubes were joined using a rope winch (see Fig. 18). A rope was stretched between neighbouring shafts, from shaft to shaft, and the tubes were shifted into each other by the force of the winch. The front-end carriage and the rear-end carriage were connected to form one unit. When the placement of the tubes was finished, the space between the gallery lining and GRP tubes was backfilled with C12/15-grade cinder concrete.

CONCLUSION

It can be seen on the above-mentioned examples that GRP tubes can be transported in small-size galleries using special carriers. Carriers for galleries with very constrained conditions require a special design and adjustment. Nevertheless, successful solutions to technical problems are worth it. The transportation of tubes inside galleries proceeds smoothly, with minimum consumption of time. The operation of the carriers is simple. This is especially appreciated by workers in the cases where tubes are transported up to the distance of about 400m. This system of transporting tubes does not require any special technological operation inside the galleries, such as, for example, the anchoring of brackets for rails to the gallery lining and removing the rails after the transportation of the tube is finished.

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

LITERATURA / REFERENCES

- [1] INSET S.R.O. *Revize proplachovacího kanálu: PRAHA 1-TĚŠNOV/PRAHA 8-LIBEŇ*. Novákových 6, 180 00 Praha 8, 2004.
- [2] METROPROJEKT Praha a.s. *Oprava proplachovacího kanálu Těšnov - Libeň*. I. P. Pavlova 2/1786, 120 00 Praha 2, 2004.
- [3] ENERGIE-STAVEBNÍ A BÁŇSKÁ A.S. *MO Myslbekova-Pelc-Tyrolka: SO 9050.11 Přeložka stoky DN2000 Troja-Geodetické zaměření skutečného stavu*. Vašíčkova 3081, 272 04 Kladno 4, 2009.
- [4] d plus PROJEKTOVÁ A INŽENÝRSKÁ A.S. *Stabilizace výpusti DN 2000 Z OK 4FE, ul. Trojská, P7*. Sokolovská 16/45A, 186 00 Praha 8 - Karlín, 2009.
- [5] OMI-Magistrát hl. m. Prahy, *Prodloužení kanalizačního sběrače "H" - 1. etapa: DVZ*. Mariánské nám. 2, Praha 1, 2011.
- [6] POHL CZ, a.s. *Prodloužení kanalizačního sběrače "H" - 1. etapa: DPS*. Nádražní 25, 252 63 Roztoky, 2014.

PROJEKT KOLEKTOR HLÁVKŮV MOST

HLÁVKA BRIDGE UTILITY TUNNEL DESIGN

VÁCLAV RÁČEK, JAROMÍR ZLÁMAL

ABSTRAKT

V nejbližší budoucnosti se plánuje rekonstrukce Hlávkova mostu, a proto je nutné přeložit všechny inženýrské sítě (IS) mimo most. Bylo navrženo uložit IS do podzemí a toto převedení řeší projekt „Kolektor Hlávkův most“. Kolektor spojuje levý a pravý břeh Vltavy na návodní straně mostu. Na trase jsou čtyři šachty. Ve spodní části šachet jsou umístěny technické komory, kde se kříží IS. Nebezpečí proniknutí vltavské vody do kolektoru je řešeno žumpovní stolou. Na ostrově Štvanice se na šachtu napojuje hloubený kolektor, který se napojí na stávající kolektory na obou březích Vltavy bez přerušení jejich provozu.

ABSTRACT

The reconstruction of the Hlávká Bridge is planned for the nearest future and it is therefore necessary to relocate all utility networks (UNs) off the bridge. It was proposed that the UNs would be placed underground. This relocation is solved by the “Hlávká Bridge Utility Tunnel” design. The utility tunnel links the left bank and right bank of the Vltava River on the upstream side of the bridge. There are four shafts along the route. Technical chambers, in which there are crossings of UNs, are located in the lower part of the shafts. The danger of the penetration of the Vltava River water is solved by a drainage gallery. A cut-and-cover utility tunnel is connected to the shaft on Štvanice Island. It will be connected to existing utility tunnels on both banks of the Vltava River without interrupting their operation.

ÚVOD

V souvislosti s plánovanou rekonstrukcí Hlávkova mostu bylo potřeba vyřešit dočasné i trvalé přeložení všech inženýrských sítí, vedených v tomto mostě. Při statickém průzkumu mostní konstrukce bylo zjištěno značné opotřebení většiny klíčových nosných prvků mostu. Vzhledem k tomu bude nutno sejmut celá klenbová pásy a po rekonstrukci původních pilířů bude vybetonována nová železobetonová konstrukce nosných kleneb. Vzhledově bude dodržena původní památkově chráněná forma mostu. Díky nové konstrukci, která bude subtilnější a jinak konstrukčně uspořádaná pro těleso tramvajové trati, nebude možné nikdy vrátit původní vedení inženýrských sítí zpět do mostní konstrukce.

Původní varianta náhradní mostní provizorní konstrukce pouze pro vedení přeložky všech inženýrských sítí je z hlediska rozsahu a případné realizovatelnosti velice nevhodná, a to i vzhledem k finančním aspektům provizorní konstrukce.

Uvedený článek popisuje konstrukční řešení hlavní trasy kolektoru Hlávkův most.

POPIS STAVBY

Stavba kolektoru Hlávkův most je situačně vedena optimalizovanou trasou, zhruba rovnoběžnou s osou Hlávkova mostu, spojující oba břehy Vltavy a zajišťující náhradu vedení všech inženýrských sítí z tělesa Hlávkova mostu.

Z pohledu kolektorových sítí bude kolektor Hlávkův most propojovat dva stávající kolektory 2. kategorie, a to RNLS (pojmenovaný podle stavby „Rekonstrukce nábreží Ludvíka Svobody“) a SPHM (pojmenovaný podle stavby „Severní předmostí Hlávkova mostu“). Zároveň touto stavbou dojde k napojení ostrova Štvanice na kolektorovou síť.

Stavba kolektoru Hlávkův most začíná vstupní šachtou J101 na těšnovské straně poblíž objektu Ministerstva zemědělství, kde bezprostředně navazuje na technickou komoru TK101 a nově navrhovanou kabelovou komoru KK1. V tomto místě, přesněji u pomníku obětem kolektivizace, je kolektor propojen se stávajícím kolektorem RNLS. Trasa kolektoru pokračuje dále na

INTRODUCTION

It was necessary in the context of the planned reconstruction of the Hlávká Bridge to solve the temporary and also permanent relocations of all utility networks installed on this bridge. The significant wear of the majority of key load-bearing elements of the bridge was revealed during the work on the structural assessment of the bridge structure. With regard to this fact, it will be necessary to remove some complete vault elements and, after the reconstruction of the original piers, a new reinforced concrete structure of the bridge vault elements will be carried out. As far as the appearance is concerned, the original historic form of the bridge will be maintained. Owing to the new structure, which will be slenderer and structurally arranged for the tram track bed in another way, it will be never more possible to return the original utility networks back to the bridge structures.

The original variant of a substitute temporary bridge structure designed only for carrying all utility networks to be relocated is very unsuitable not only from the aspect of the extent and contingent technical viability but also the financial aspects of the temporary structure.

This paper describes the structural design for the main route of the Hlávká Bridge utility tunnel.

STRUCTURE DESCRIPTION

The structure of the Hlávká Bridge utility tunnel runs along an optimised route, roughly parallel to the Hlávká Bridge centre line, interconnecting both Vltava River banks and ensuring the relocation of all utility network lines from the Hlávká Bridge.

From the aspect of utility tunnel networks, the Hlávká Bridge utility tunnel will interconnect two existing, category 2, utility tunnels, i.e. the RLSE tunnel (named after the construction project called “The Reconstruction of Ludvík Svoboda Embankment”) and the above-mentioned NBHB. At the same time, this structure will connect Štvanice Island to the utility tunnel network.

The Hlávká Bridge utility tunnel structure starts by the J101 entry shaft on the Těšnov side, near the Ministry of Agriculture



Obr. 1 Situace stavby kolektoru Hlávkův most

Fig. 1 Hlávka Bridge utility tunnel construction layout

ostrov Štvanice, kde je situována šachta J102 před restaurací bývalého zimního stadionu Štvanice. V parkové části ostrova Štvanice je lokalizována šachta J103, ze které je vyveden podpovrchový kolektor. Ten je veden napříč pod Hlávkovým mostem směrem k tenisovému stadionu do takové vzdálenosti od mostu, aby nebránil vyvedení inženýrských sítí budoucímu staveništi při rekonstrukci Hlávkovu mostu. Na holešovické straně Vltavy, za rubem opěrné zárubní zdi, je situována koncová šachta J104, která je koridorem propojena se stávajícím kolektorem SPHM a kabelovodem a pokračuje částečně až do ulice Nábřeží kapitána Jaroše, kde je navrhována další kabelová komora KK2. Rozsah je uveden na obrázcích (obr. 1 situace, obr. 2 podélný řez).

Z pohledu technického řešení [1, 2] lze stavbu dělit na hloubené a ražené úseky. Ražená část má celkovou délku 411 m o dvou různých příčných řezech. Převládající ražený profil rozměrů 4,0x5,6 m je ve tvaru obráceného „U“ a představuje většinu projektovaných ražeb na této stavbě. Druhý profil je oválného tvaru, rozměrů 8,95x9,70 m a je projektován v místě technických komor TK101 a TK103, v délkách 18,87 m a 10,84 m. Čtyři šachty jsou kruhového a oválného průřezu o ploše výrubu 28–53 m² a hloubce 30–37 m. Hloubený podpovrchový kolektor na ostrově Štvanice (rozměrů 3,1x3,9 m až 5,5x3,9 m) má délku 99,6 m. Součástí kolektoru jsou také, mimo jiné, i vzduchotechnické objekty a technicky složitě propojovací objekty do stávajících kolektorů „SPHM“ a „RNLS“.

GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ PODMÍNKY

Na geologické stavbě území se podílela vedle erozivní a akumulární činnosti Vltavy odolnost předkvartérního podkladu vůči erozi a denudaci. Původní morfologie terénu je narušena vlivem lidské činnosti při terénních úpravách pro výstavbu nábřežních zdí a komunikačních systémů na levém i pravém břehu Vltavy a ostrova Štvanice. Všeobecně lze geologické poměry zájmového území charakterizovat jako poměrně složité a značně proměnlivé [3, 4].

Na zvětřalém ordovickém skalním podloží leží fluviální sedimenty a navážky. Z hornin skalního podkladu se na území vyskytují celkem tři souvrství, zastížená různými stupni zvětřávání. Na holešovické straně se vyskytuje souvrství letenské, souvrství vinické se vyskytuje kolem ostrova Štvanice a poslední, záhořanské souvrství je na těšnovské straně.

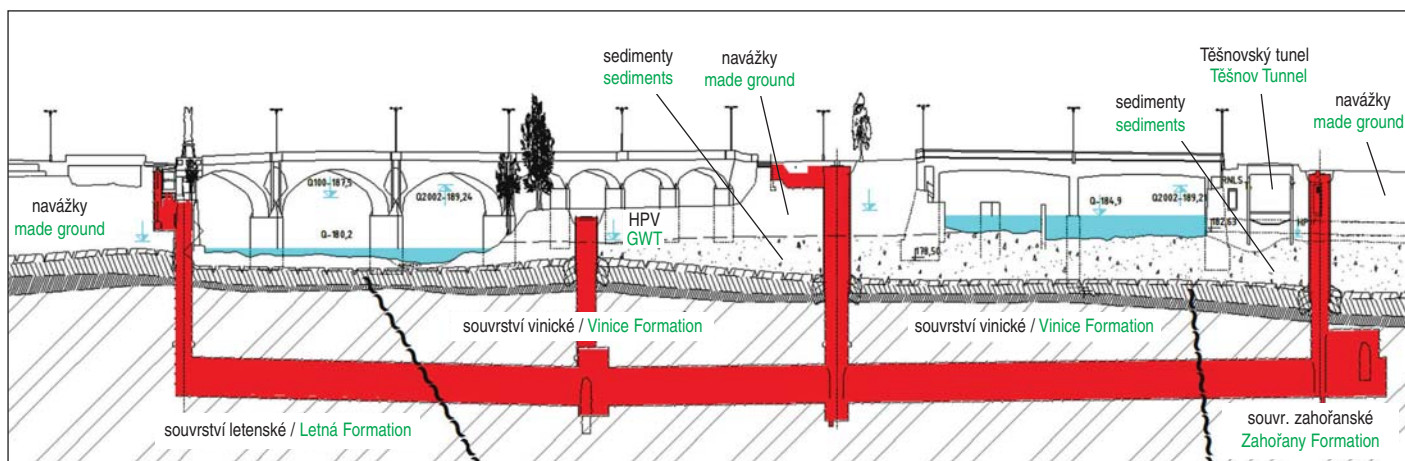
Přes tato souvrství je v úrovni pod hladinou podzemní vody vedena i hlavní trasa kolektoru, která tak dvakrát prochází rozhraním geologických vrstev a tektonickými poruchami.

building, where it is attached to the TK101 technical chamber and the newly designed KK1 cable chamber. In this location, more precisely next to the monument dedicated to the victims of collectivisation, the utility tunnel is connected to the existing RLSE utility tunnel. The utility tunnel route proceeds further to Štvanice Island, where the J102 shaft is located in front of the former Štvanice winter stadium. In the island part covered with a park, there is the J103 shaft, to which a subsurface utility tunnel is connected. The tunnel crosses under the Hlávka Bridge in the direction of the tennis stadium, up to a distance from the bridge not preventing the future construction site for the Hlávka Bridge for connecting their own utility networks. The J104 end shaft is located on the Holešovice side of the Vltava River, behind the outer face of a retaining wall. The shaft is connected with the existing NBHB and a cable duct; the corridor partially continues up to Nábřeží Kapitána Jaroše Street, where another cable chamber, KK2, is designed. The extent is presented in pictures (Fig. 1 - layout, Fig. 2 – longitudinal section).

From the aspect of the technical solution [1, 2], it is possible to divide the construction into cut-and-cover and mined sections. The total length of the mined part amounts to 411m. There are two different cross sections designed for the structure. The prevalent mined cross-section with the dimensions of 4.0x5.6m has an inverted U shape; it is designed for a majority of the mined tunnels on this project. The other cross-section is oval, with the dimensions of 8.95x9.70m. It is designed for technical chambers TK101 and TK103 with the lengths of 18.87m and 10.84m, respectively. Four shafts are circular or oval in the ground plan, with the excavated cross-sectional area of 28-53m² and the depth of 30-37m. The cut-and-cover subsurface utility tunnel on Štvanice Island (with cross-sectional dimensions ranging from 3.1x3.9m to 5.5x3.9m) is 99.6m long. Ventilation structures and technically complicated interconnection structures leading to the existing NBHB and RLSE utility tunnels are parts of the utility tunnel.

GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS

Apart from the erosion and accumulation activities of the Vltava River, the resistance of the pre-Quaternary base to erosion and denudation also participated in the formation of the geological structure of the area. The original terrain morphology is disturbed by the effects of human activities during the shaping of ground for the construction of embankment walls and communication systems along both Vltava River banks and on Štvanice Island. The geological conditions in the area of interest can be in general characterised as relatively complicated and very variable [3, 4].



Obr. 2 Podélný řez stavby kolektoru Hlávkův most

Fig. 2 Longitudinal section through the Hlávka Bridge utility tunnel structure

V roce 2001 byl pod Vltavou dokončen kabelový kolektor mezi ulicemi Argentinská a Pobřežní. Od kolektoru Hlávkův most je vzdálen 500 m. Tato stavba byla ražena v podobných inženýrskogeologických a hydrologických podmínkách, jaké budou při ražbě kolektoru Hlávkův most. Z hydrogeologického monitoringu, který zde byl realizován, vyplývá, že celkový průměrný přítok po vyražení díla s primárním vystrojením dosahoval na šachtě Argentinská až $Q = 36,0 \text{ l.s}^{-1}$ a na jámě Pobřežní $Q = 40,0 \text{ l.s}^{-1}$. Z analogie naměřených hodnot lze na kolektoru Hlávkův most stanovit celkový normální přítok do díla na $Q = 12,3 \text{ l.s}^{-1}$ při průměrném specifickém přítoku $0,03 \text{ l.s}^{-1}$.

Zvýšené přítoky jsou očekávané v oblasti pod Vltavou při ražbě v letenském souvrství a v tektonických poruchách, kde lokálně mohou dosahovat až 20 l.s^{-1} . Maximální havarijný přítok do díla, při částečném propojení se zvodnělými šterky, se odhaduje až na $50\text{--}80 \text{ l.s}^{-1}$. Proto byla pro případ havárie objednatelům požadována žumpovní jímka o objemu 100 m^3 .

NÁVRHOVÝ PŘÍSTUP K POSOUZENÍ KONSTRUKCÍ

Vzhledem k rozsáhlému souboru vstupních podmínek byl návrh jednotlivých konstrukcí proveden vždy jako parametrická studie, kde bylo uplatněno široké spektrum modulů deformace i součinitelů bočního tlaku. Posouzení hloubených i ražených částí pak bylo provedeno obecnou deformační metodou, kde spojitá střednice byla vždy nahrazena polygonem a spolu působení ostění s horninou modelováno soustavou kyvných prutů.

TECHNICKÉ ŘEŠENÍ

Hloubené šachty

Kruhové šachty J101 až J103 jsou řešeny obdobně (šachta J101 Ø 6 m, hloubka 32,3 m, šachta J102 Ø 8,16 m, hloubka 36,96 m, šachta J103 Ø 6,7 m, hloubka 29,3 m). Výstavba šachet začíná vždy z předvýkopu o hloubce 1,0–1,5 m. Pak se v předvýkopu provedou cca 1,5 m hluboké vodící zídky pro vrtané piloty. Piloty jsou ve všech případech navrženy jako převrtávané, přičemž sekundární piloty jsou oproti primárním vyztužené armokoší. Piloty budou vždy vetknuty min. 1 m do únosného podloží.

Po provedení pilot bude následovat postupné odtěžování šachet za současné tvorby provizorního ostění v tl. 70–210 mm.

Paty vrtaných pilot budou ve dvou úrovních přikotveny svorníky dl. 4 m s tlakovou injektáží. První řada svorníků je 0,5 m nad patou piloty, druhá řada je 1,5 m nad patou piloty, přičemž každý svorník bude odkloněn horizontálně i vertikálně $\alpha \pm 15^\circ$.

Pod patami pilot bude provedeno primární ostění z příhradových nosníků BRETEX obdélníkového průřezu v osové vzdálenosti 1,5 m a stříkaného betonu v tl. 200 mm.

The weathered Ordovician bedrock is covered with fluvial sediments and made ground. Of the bed-forming rock types, there are three formations in the area, which were encountered in various degrees of weathering. On the Holešovice side, there is the Letná formation; the Vinice formation is around Štvanice Island and the last one, the Záhorky formation, is on the Těšnov side.

The main route of the utility tunnel runs through these formations under the water table. The route therefore passes twice through an interface between geological formations and through weakness zones.

The cable tunnel between Argentinská and Pobřežní Streets was finished under the Vltava River in 2000. It runs at a distance of 500m from the Hlávkův Bridge utility tunnel. This tunnel was driven through engineering geological and hydrogeological conditions similar to the conditions to be encountered during the driving of the Hlávkův Bridge Utility Tunnel. It follows from the hydrogeological monitoring which was carried out in this location that the total average inflow to the tunnel after the completion of the primary lining of the Argentinská and Pobřežní shafts amounted up to $Q = 36.01.s^{-1}$ and $Q = 40.01.s^{-1}$, respectively. It follows from the analogy of the measured values that the total normal rate of inflow to the Hlávkův utility tunnel to be $Q = 12.31.s^{-1}$ at the average specific inflow rate of $0.031.s^{-1}$.

Increased inflow rates are expected in the area under the Vltava River when the tunnel is driven through the Letná formation and through faults, where they can locally reach up to $20\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$. The maximum emergency rate of the inflow to the tunnel is estimated to be up to $50\text{--}80\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$. For that reason the project owner required a sump with the volume of 100m^3 in case of a breakdown.

DESIGNER APPROACH TO THE ASSESSMENT OF STRUCTURES

With respect to the extensive set of input conditions, the design was always carried out as a parametric study for individual structures, where a wide range of moduli of deformation and coefficients of side pressure were applied. The assessment of the cut-and-cover and mined parts was subsequently carried out using a general deformation assessment method, where the continuous centre line was always replaced by a traverse and the interaction between the lining and ground was modelled by a system of swinging beams.

TECHNICAL SOLUTION

Shaft sinking

Circular shafts J101 through to J103 are solved in a similar way (shaft J101: 6m in diameter, 32.3m deep; shaft J102: 8.16m in diameter, 36.96m deep; shaft J103: 6.7m in diameter, 29.3m deep). The construction of the shafts always starts from a 1.0-1.5m deep pre-excavated pit. Subsequently, ca 1.5m deep

V projektu je ve všech šachtách navrženo opatření proti sedání konstrukce, cca 1 m pod patou pilot se vybetonuje rozšiřující prstenec. Železobetonový prstenec má po celém obvodu provizorní konstrukce vyložení cca 1 m za vnější líc primárního ostění s vyztužením tak, aby se mohlo v budoucnu propojit s definitivním ostěním.

Po dokončení betonové desky na dně šachty s vložení KARI sítí při obou površích a vytvoření odvodňovací jámky 1500/1500/2000 mm je primární konstrukce šachet kompletní.

Rozrážky z jednotlivých šachet do trasy kolektoru jsou kolem U-portálu zajištěny svislými převážkami v šířce 1 m ze stříkaného betonu s vložení KARI sítí. Převážky jsou přikotveny svorníky v délce 4 m s tlakovou injektáží s odklonem $\pm 15^\circ$ v horizontální rovině tak, aby nezasahovaly do trasy budoucí ražby. Hlava kotev bude vždy zároveň opatřena podkladní roznášecí deskou. Tyto svorníky jsou navrženy i nad klenbou budoucí rozrážky. Teprve po tomto zajištění bude možné zahájit ražbu.

V místech, kde bude definitivní konstrukce přecházet v jinou tuhost, například při přechodu ze šachty do hlavní trasy kolektoru, budou provedeny injektáže sektorovým způsobem pro odstranění případných netěsností. Pracovní spáry budou utěsněny spárovými pásy z měkkého polyvinylchloridu.

Šachta J104 se liší ve dvou detailech oproti předchozím třem šachtám. Má elipsovité tvar o rozměru hlavních os 6,42x5,68 m a hloubku 32,2 m. Liší se také v zajištění ohlubně jámy tryskovou injektáží v předepsaném směru a sklonu, která má zajistit bezpečné zahájení hloubení jámy v blízkosti pobřežní opěrné zdi a kolektoru SPHM. Postup výstavby i dimenze ostění zůstávají stejné jako v předchozích případech.

Každá šachta byla posouzena ve stadiu výstavby a ve stadiu definitivní konstrukce. Pro návrh a posouzení definitivních konstrukcí byl započítán, oproti provizornímu ostění, vliv hydrostatického tlaku (v celkovém návrhu je uvažován vliv hydrostatického tlaku při stoletém průtoku Vltavy).

Hloubené kolektorové trasy

Pro zajištění otevřeného výkopu byly navrženy ocelové štetovnice Larsen IVn. Štetovnice budou zaberaněny až do únosné vrstvy, tj. až na rozhraní rozložených a zvětralých vinických břidlic. Jako podklad

guide-walls for bored piles are carried out. The piles are in all cases designed as secant piles, with the secondary piles, in contrast to the primary piles, provided with reinforcement cages. The piles will always be keyed at least 1m into the good bearing ground.

Gradual excavation of the shafts with the concurrent installation of the temporary 70-210mm thick lining will proceed after the completion of the piles. The toes of the secant piles will be anchored at two levels with 4m long hollow groutable rock bolts. The first tier and the second tier of rock bolts are 0.5m and 1.5m above the pile bottom, respectively. Each rock bolt will be inclined both horizontally and vertically by $\pm 15^\circ$.

A primary lining formed by rectangular-profile BRETEX lattice girders installed at 1.5m spacing and a 200mm thick layer of shotcrete.

A measure against the settlement of the structure is proposed for all shafts in the design – a width-enlarging reinforced concrete ring cast approximately 1m under the pile toes. The reinforced concrete ring reaches out around the entire circumference of the temporary structure about 1m beyond the outer surface of the primary structure so that it can be connected with the final lining in the future. The reinforcement is installed in a way allowing the temporary lining to be interconnected with the final lining.

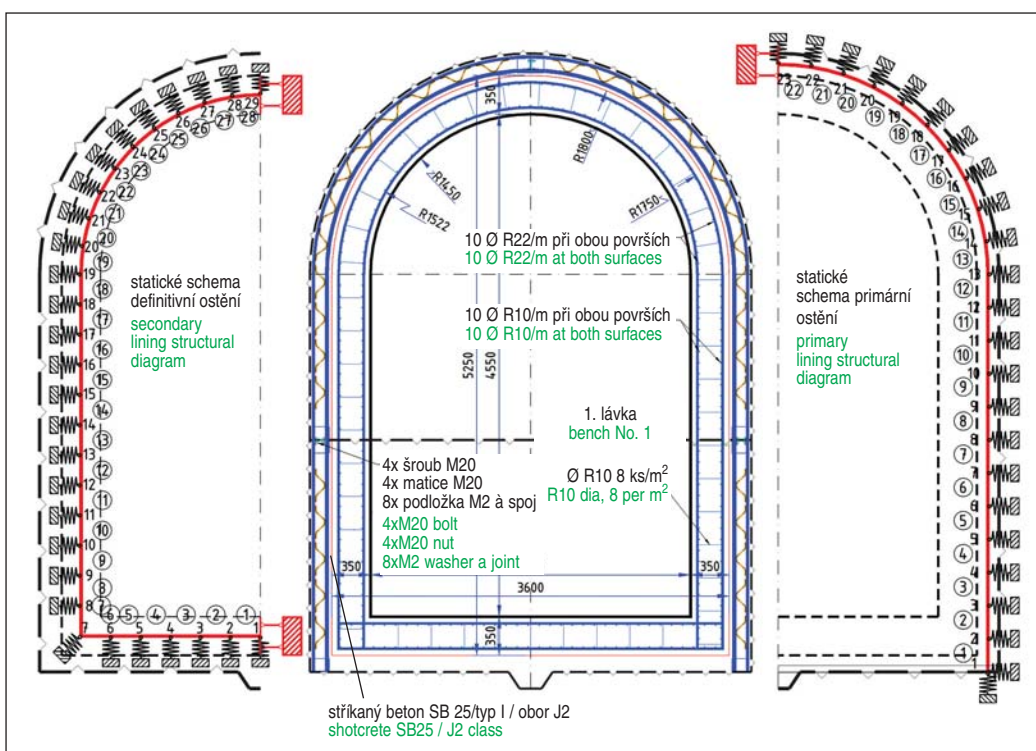
When the concrete slab on the shaft bottom reinforced with two layers of KARI mesh installed at both surfaces and a drainage sump 1,500/1,500/2,000mm are finished, the primary linings of the shafts are complete.

The openings leading from individual shafts to the utility tunnel route are supported around the U-portal with 1m wide vertical walers made from shotcrete reinforced with KARI mesh. The walers are anchored with 4m-long hollow groutable rock bolts, inclined $\pm 15^\circ$ from the horizontal plane so that they do not interfere with the route of the future excavation. Rockbolt heads will always be provided with faceplates. The rock bolts are in addition designed to be installed above the vault of the future tunnel stub. The tunnel excavation will be allowed to commence only after the installation of this support.

Sector grouting will be carried out in the locations where the stiffness of the final structure will change, for example at the transition

from the shaft to the main route of the utility tunnel, with the aim of removing contingent leaks. Construction joints will be sealed with plasticised polyvinyl chloride waterbars.

Shaft J104 differs from the previous three shafts in two details. The 32.2m deep shaft has an elliptical shape with the axes 6.42 and 5.68m long. The stabilisation of the pit bank, which is designed to ensure the safe commencement of the shaft excavation in the close vicinity of an embankment retaining wall and the NBHB utility tunnel, is also different; the pit bank will be stabilised by jet grouting carried out in the prescribed direction and dip angle. The construction procedure and dimensions of the lining remain identical with those designed in the preceding cases.



Obr. 3 Statické schéma a charakteristický příčný řez kolektorovou trasou

Fig. 3 Structural diagram and characteristic cross-section through the utility tunnel route



Obr. 4 Vizualizace kolektoru Hlávkův most
Fig. 4 Visualisation of the Hlávka Bridge utility tunnel

pro vodotěsné izolace budou štětovnice po celé výšce výkopu opatřeny vrstvou z betonu v tl. 150 mm, vyztuženou při vnitřním povrchu z KARI sítě. Vrstva z betonu bude provedena i na dně výkopu v tl. 250 mm, přičemž bude opětovně vyztužena při vnitřním povrchu KARI sítě. Pro správnou statickou funkci bylo nutné štětovnice skrz betonovou vrstvu rozeprít. V místě budoucích rozpěr je v betonu skrytý železobetonový nosník 150/300 mm vyztužený při obou površích. V osové vzdálenosti 5 m je do skrytého nosníku ukotvena a zabetonována ocelová roznášecí deska. V místech těchto desek budou následně instalovány ocelové rozpěry z ocelových trubek.

Definitivní konstrukce kolektoru je navržena jako uzavřený komorový profil o tl. stěny/desky 350 mm v celé délce profilu (včetně komor). Základní trasa je navržena v profilu 3,10x3,90 m, průběžná komora v profilu 3,95x4,35 m a největší koncová komora v profilu 5,50x3,90 m.

Vzhledem k tomu, že nelze u ostrova Štvanice vyloučit zatopení, byla hloubená část kolektoru posouzena na „vyplavání“, tedy na stav, kdy je vzlaková síla větší, než hmotnost kolektoru. Na základě těchto posudků bylo v místech komor (průběžné a koncové) navrženo přitížení betonovými deskami v tl. 1,0 a 1,1 m na celou šířku profilů. Celá trasa podpovrchového kolektoru bude na žádost objednatele opatřena asfaltovou hydroizolací.

Na přechodu mezi definitivní konstrukcí šachty J103 a hloubené trasy kolektoru bude provedena dilatační spára. Při betonáži kolektoru jsou navrženy dvě úrovně pracovních spár (v místě nad podlahou a pod stropem). Pro eliminaci vzniku bludných proudů je navrženo několik přerušení betonářské vyztuže.

Ražené kolektorové trasy

Hlavní kolektorová trasa prochází proměnným geologickým prostředím a geologickými zlomy, nelze proto vyloučit přítomnost hydrostatického tlaku. V projektu jsou uvažovány dodatečné průzkumné práce před každou ražbou. Vrtý v délce 20 m odhalí místa oslabených zón, geologických poruch a místa s horšími geotechnickými parametry. Definitivní ostění bylo proto na rozdíl od provizorního ostění ve výpočtu zatíženo hydrostatickým tlakem na celý profil, tj. včetně desky dna profilu. V návrhu je uvažován vliv hydrostatického tlaku při stoletem průtoku Vltavy.

Charakteristický profil hlavní trasy byl posouzen ve čtyřech vytypovaných místech se známou geologií (vedle šachet 101–104). Výpočet zatížení na provizorní i definitivní konstrukci byl proveden na základě hypotézy vzniku horninové klenby podle Protodjakonova [5, 6]. Ve všech posuzovaných případech bylo ověřeno, že horninová klenba vznikne a bude zasahovat do břidlic převážně nezastižených, nebo jen mírně dotčených zvětrávacími procesy. Uvažované statické schéma a charakteristický příčný řez jsou zobrazeny na obr. 3.

Each shaft was assessed both in the construction and final lining stages. In contrast with the design for the temporary lining, hydrostatic pressure was taken into account for the purpose of designing and assessing the final lining (the influence of hydrostatic pressure is taken into consideration in the overall design only in the case of the 1 in 100 years flow rate in the Vltava River).

Cut-and-cover utility tunnel routes

Larsen IVn steel sheet piles were designed for the support of the open cuts. The sheet piles will be driven down to the competent layer, i.e. up to the interface between decomposed and weathered Vinice shale. The sheet piles will be provided with a 150mm thick layer of shotcrete reinforced with KARI mesh at the inner surface. The layer is designed to provide sub-grade for the waterproofing layer. A 250mm thick shotcrete layer reinforced at the inner surface with KARI mesh will be even applied to the excavation bottom. To ensure proper structural function, it was necessary to brace the sheet piles through the concrete. A 150/300mm concrete beam reinforced at both surfaces is concealed in the concrete in the location of the future braces. A steel spreading plate is anchored and embedded in the concealed concrete beam at 5m spacing. Steel braces (steel tubes) will be subsequently installed on these plates.

The final utility tunnel lining is designed as a closed chamber profile with the wall/slab 350mm thick throughout the profile length (inclusive of the chambers). The basic route and the intermediate chamber profiles are designed to be 3.10x3.90m and 3.95x4.35m, respectively; the profile designed for the largest end chamber is 5.50x3.90m.

Taking into consideration the fact that inundation cannot be excluded in the case of Štvanice Island, the cut-and-cover part of the utility tunnel was assessed for buoyancy, i.e. for the state when the uplift force is greater than the utility tunnel weight. Based on these assessments, 1.0 and 1.1m thick concrete slabs covering the whole width of the profiles were designed to provide a surcharge load in the locations of the chambers (both intermediate and end ones). The whole route of the subsurface utility tunnel will be provided with asphalt waterproofing at project owner's request.

An expansion joint will be carried out at the transition between the final liner of J103 shaft and the cut-and-cover route of the utility tunnel. Two levels of construction joints are designed to be carried out during the casting of the concrete utility tunnel structure (above the floor and under the roof). Several interruptions of the concrete reinforcement bars are designed for the purpose of the elimination of the origination of stray currents.

Mined utility tunnel routes

The main utility tunnel route passes through a variable geological environment and geological faults. It means that the presence of hydrostatic pressure cannot be excluded. Supplementary survey operations to be carried out ahead of each heading are assumed in the design. Boreholes 20m long drilled out of the excavation face will discover weakness zones, geological faults and locations with worse geotechnical parameters. In the design, the final lining was, in contrast to the temporary lining, loaded by hydrostatic pressure acting on the whole profile, i.e. inclusive of the profile bottom slab. The influence of the hydrostatic pressure acting during a 1 in 100 years rate of the Vltava River flow.

The characteristic profile of the main route was assessed in four tipped locations with well-known geology (next to 101-104 shafts). The calculation of loads acting on the temporary and final linings was carried out on the basis of the Protodjakonov natural rock arch development hypothesis [5, 6]. It was verified in all cases being assessed that the natural rock arch will develop and will extend into shales unaffected by weathering processes or only slightly affected by them. The structural diagram taken into consideration and a characteristic cross-section are presented in Fig. 3.

Ražba je vzhledem k náročným podmínkám geologického prostředí, ale i vzhledem k technologickým možnostem navržena a posouzena na dvě výškové lávky s horizontálním členěním výrubu (částečný profil, tj. 4,0x3,5 m a plný profil 4,0x5,6 m) a s časovým oddělením jejich provádění (odvislé od délek záběrů – tj. min. 6 m a max. 20 m na každou lávku v podélném směru).

Proto je provizorní konstrukce navržena ze stříkaného betonu s vloženými KARI sítěmi při obou površích a vložených příhradových rámu BRETEX trojúhelníkového tvaru v osové vzdálenosti odpovídající konkrétním geotechnickým podmínkám:

- v letenském souvrství v osové vzdálenosti 1,2 m;
- ve vinickém souvrství v osové vzdálenosti 1 m;
- v záhořanském souvrství v osové vzdálenosti 1 m.

Trasa kolektoru prochází geologickými zlomy, a proto, na rozhraní jednotlivých souvrství, jsou v těchto místech uvažována následující opatření:

- Pro zajištění klenby bude ve směru ražby v celkové délce 10 m (5 m před a 5 m za předpokládaným geologickým zlomem) v každém druhém rámu zajištěna klenba svorníky dl. 4 m s odklonem 15° v podélném směru s tlakovou injektáží. Osová vzdálenost svorníků v klenbě je 0,6 m.
- Osová vzdálenost rámu BRETEX je v místě zlomů zmenšena na 0,8–1,0 m.

Mezi šachtami J101 a J102 se kolektor přibližuje poměrně blízko k základům opěry Hlávka mostu. V tomto místě je k zajištění minimálních poklesů opěry Hlávka mostu navrženo zdvojení příhradových rámu BRETEX v osové vzdálenosti 1 m.

V profilu se uvažují dvě úrovně pracovních spár (v místě nad deskou a pod patami klenby) a jako opatření proti bludným proudům je v trase navrženo přerušení výztuže. Vizualizace na obr. 4 znázorňuje jednotlivé typy ostění včetně definitivního vystrojení ocelovými výložníky.

Ražené technické komory

Ke statickému posouzení příčných profilů technických komor bylo přistoupeno identicky jako u charakteristického profilu hlavní trasy (viz statické schéma a charakteristický příčný řez technickou komorou na obr. 5).

Výstavba provizorního ostění je navržena na horizontální členění a je posuzována ve třech stádiích výstavby.

Technická komora TK101 má navíc oproti TK103 atypický tvar, ze šachty J101 dochází k postupnému rozšiřování profilu. Přechodové profily jsou proto navrženy ve třech různých geometriích – z tvaru

With respect to the demanding conditions of the geological environment, but also with respect to technological capacities, the tunnel excavation is designed and assed to be divided into two benches – the partial profile 4.0x3.5m and the full profile 4.0x5.6m (the so-called horizontal excavation sequence), with the excavation of the parts divided in time (depending on the duration of excavation rounds – the minimum and maximum distances between upper and lower excavation faces of 6m and 20m, respectively).

The temporary lining is for that reason designed to be in shotcrete with KARI mesh at both surfaces and triangular BRETEX lattice girders installed at the spacing corresponding to the particular geotechnical conditions:

- 1.2m spacing in the Letná formation;
- 1m spacing in the Vinice formation;
- 1m spacing in the Záhořany formation.

The utility tunnel route passes through geological faults; the following measures are for that reason assumed at the interfaces between individual formations:

- To stabilise the vault 5m before and 5m behind the expected geological fault (the aggregate length of 10m), there will be 4m long groutable rock bolts inclining in the longitudinal direction at an angle of 15° installed at each other girder. The rock bolts in the crown are installed at 0.6m spacing.
- Axial spacing of BRETEX girders in the locations of faults is reduced to 0.8-1.0m.

Between the J101 and J102 shafts the utility tunnel gets relatively close to the foundations of the Hlávka Bridge abutment. Doubling of the BRETEX lattice girders (axial spacing of 1m) is designed for these locations to secure minimum subsidence of the Hlávka Bridge abutment.

Two levels of construction joints are assumed for the profile (in the location above the slab and under the vault springing) and, as a measure against stray currents, the interruption of reinforcement bars is designed along the route. The visualisation in Fig. 4 shows individual types of the lining, inclusive of the final support with steel cantilevers.

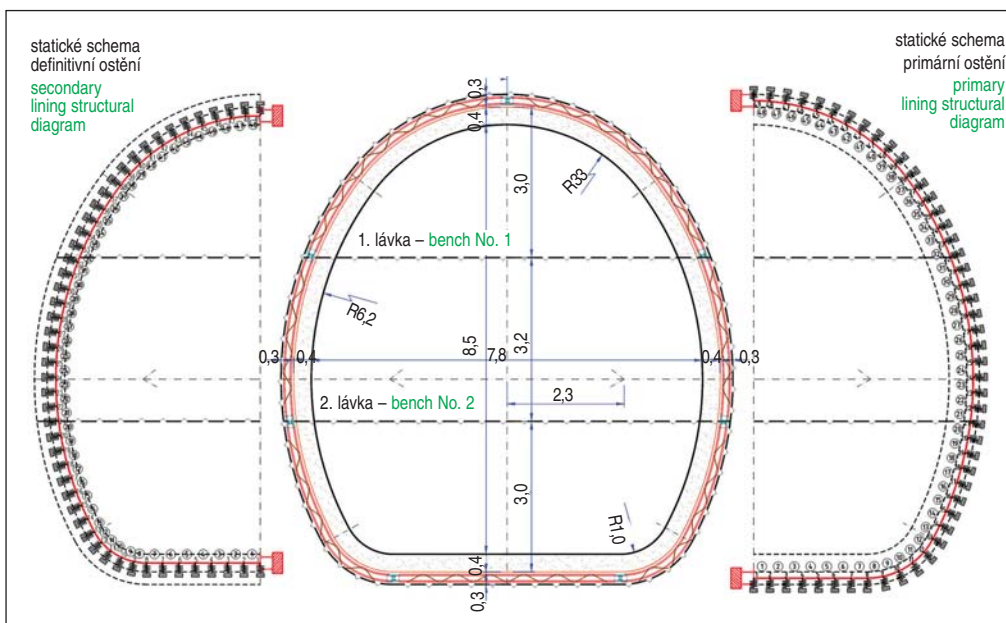
Mined technical chambers

The approach to the structural assessment of the cross-sections of technical chambers was identical with the approach adopted to the characteristic cross-section of the main route (see the structural diagram and the characteristic cross-section through the technical chamber in Fig. 5).

The horizontal excavation sequence is proposed for the construction of the temporary lining. It is assessed in three construction stages.

The TK101 technical chamber has an atypical shape in comparison with the TK103 chamber - the cross-section width gradually increases from the J101 shaft. Three different profiles are therefore designed for the transition profiles - transition from the initial profile with straight sidewalls up to the oval geometry of the characteristic profile of the technical chamber.

The initial transition profile (the profile with straight sidewalls), which is supported with 4m long groutable rock bolts installed at 1m spacing, is technically most demanding. The design proposes that 25 rock bolts are used at the initial transition frame. The rock



Obr. 5 Statické schéma a charakteristický příčný řez technickou komorou

Fig. 5 Structural diagram and characteristic cross-section through the technical chamber

počátečního profilu s rovnými bočními opěrami až do oválného tvaru charakteristického příčného profilu technické komory.

Technicky nejsložitější je první přechodový profil (profil s rovnými bočními opěrami), který je zajištěn svorníky dl. 4 m v osové vzdálenosti 1 m s tlakovou injektážní směsí. Projekt navrhuje použití 25 svorníků na první přechodový rám. Svorníky budou opět prostorově odkloněny o $\pm 15^\circ$ tak, aby nezasahovaly do dalších přechodových profilů. Provizorní konstrukce je navržena z příhradových rámců BRETEX v osové vzdálenosti 1 m a stříkaného betonu se sítěmi KARI při obou površích.

Provizorní konstrukce

Primární konstrukce všech šachet a charakteristických kolektorových tras budou provedeny ze stříkaného betonu SB25/typ II/obor J2. U technických komor je pak použita třída stříkaného betonu SB30/typ III/obor J2.

Vyztužení respektuje odlišné zatížení jednotlivých částí kolektoru, při dodržení projektované tloušťky krycí vrstvy 25 mm.

Definitivní konstrukce

U všech profilů je uvažováno krytí výztuže 50 mm, třída betonu C30/37, vázaná výztuž pro jednotlivé profily je podle těchto podmínek upravena. Definitivní konstrukce hloubených šachet je navržena ve všech šachtách tl. 300 mm a je vyztužena KARI sítěmi při obou površích. Při tvorbě definitivního ostění dojde k provázání s konstrukcí zabráňující sedání ostění šachty.

Vyztužení jednotlivých profilů hloubené kolektorové trasy se liší a odpovídá jejich velikosti a užitnému zatížení. Tloušťka ostění hlavní kolektorové trasy je 350 mm. Tloušťka ostění technických komor je taktéž 350 mm.

ZÁVĚR

Stavbu kolektor Hlávkův most lze zařadit do 3. geotechnické kategorie – náročná stavba ve složitých geotechnických podmínkách.

Ačkoliv se stavba nemůže velikostí poměřovat například s nedávno realizovaným tunelem Blanka či prodloužením trasy metra V.A, je třeba si uvědomit, že rizika, na která lze v průběhu realizace narazit, jsou podobná:

- ražba pod korytem Vltavy;
- očekávané přítoky až do 20 l.s⁻¹, v případě částečného propojení se zvodněnými fluvialními šterky trvalé přítoky 50–80 l.s⁻¹;
- zvodnělé šterky v nadloží;
- trasa kolektoru prochází tektonickými poruchami na styku souvrství;
- trhačí práce – obtížně rozpojitelné souvrství letenské ve tř. 6 a 7.

Při realizaci kolektoru Hlávkův most tak bude rozhodující především vysoká technologická kázeň a zkušenost prováděcí firmy s podobnými stavbami.

Ing. VÁCLAV RÁČEK, racek@ingutis.cz,
Ing. JAROMÍR ZLÁMAL, zlamal@ingutis.cz,
INGUTIS, spol. s r.o.

Recenzovali Ing. Kamil Novosad, Ing. Miroslav Kochánek

bolts will be again spatially inclined at $\pm 15^\circ$ not to interfere with other transition profiles. The temporary lining is designed to consist of BRETEX lattice girders installed at 1m spacing and shotcrete with KARI mesh at both surfaces.

Temporary linings

The primary lining of all shafts and characteristic utility tunnel routes will be carried out using SC25/type II/J2 class shotcrete. SC30/type III/J2 class shotcrete will be used for technical chambers.

Concrete reinforcement respects the different loads acting on individual parts of the utility tunnel. The designed concrete cover thickness of 25mm is always maintained.

Final linings

Concrete cover thickness of 50mm, concrete grade C30/37 and tie-up reinforcement are contemplated for all profiles; the reinforcement is calculated individually. The thickness of the final lining of 300mm is designed for all shafts. Concrete will be reinforced with KARI mesh at both surfaces. During the construction of the final lining its structure will be tied up with the shaft lining settlement-preventing structure.

The reinforcement of individual profiles of the cut-and-cover utility tunnel route varies and its design corresponds to their sizes and the imposed load. The lining on the main utility tunnel route is 350mm thick; the lining of technical chambers is also 350mm thick.

CONCLUSION

The Hlávka Bridge Utility Tunnel construction can be rated as geotechnical category 3 – a demanding construction in complicated geotechnical conditions.

Despite the fact that it cannot be compared, for example, with the recently completed Blanka complex of tunnels or the extension of metro line V.A, it is necessary to realise that the risks which can be encountered during the construction are similar:

- driving tunnels under the Vltava River bed;
- expected inflow rates up to 20l.s⁻¹; permanent inflow rates of 50-80l.s⁻¹ in the case of partial interconnection with water-bearing fluvial gravels;
- water-bearing gravels in the overburden;
- the utility tunnel route passes through tectonic faults at the interface between formations;
- blasting operations – the hard to excavate Letná formation categorised as classes 6 and 7.

High technological discipline and experience of the construction contractor with similar projects will be therefore crucial during the realisation of the Hlávka Bridge utility tunnel.

Ing. VÁCLAV RÁČEK, racek@ingutis.cz,
Ing. JAROMÍR ZLÁMAL, zlamal@ingutis.cz,
INGUTIS, spol. s r.o.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] INGUTIS, spol. s r.o. Stavba č. 8615, Kolektor Hlávkův most: DSP. Thákurova 7, Praha 6, 06/2006.
- [2] INGUTIS, spol. s r.o. Stavba č. 8615, Kolektor Hlávkův most: DZS. Thákurova 7, Praha 6, 11/2014.
- [3] PUDIS, a.s., Podrobný inženýrskogeologický a hydrogeologický průzkum – stavba č. 8615, Kolektor Hlávkův most. Nad Vodovodem 2/2358, Praha 10, 06/2006.
- [4] PUDIS, a.s., Podrobný inženýrskogeologický a hydrogeologický průzkum – stavba č. 8615, Kolektor Hlávkův most, geofyzikální průzkum. Nad Vodovodem 2/2358, Praha 10, 06/2006.
- [5] DANDUROV, M. I. Tonnelli, Moskva: Gosudarstvennoje transportnoje železnodorožnoje izdatelstvo, 1952. 623 s.
- [6] SZÉCHY, Károly. The Art of Tunneling, Budapest: Akademia Kiado, 1966. 891 s.

DOKUMENTACE A NÁVRHY ZAJIŠTĚNÍ NESTABILNÍCH PODZEMNÍCH PROSTOR ZNOJEMSKÉHO PODZEMÍ

DOCUMENTATION AND PROPOSALS FOR SECURING INSTABLE SPACES OF ZNOJMO UNDERGROUND

RICHARD SKOPAL, JAROSLAV RYŠÁVKA

ABSTRAKT

Předkládá článek pojednává o geologické dokumentaci, geotechnickém zhodnocení a návrhu zajištění nestabilních podzemních prostor, které se nacházejí pod historickou částí města Znojma. Nestabilita podzemních výrubů se na většině dokumentovaných míst projevila minimálně drobnými opady kusů zvětralých hornin, v některých případech došlo až k závalům zcela rozvětralých krystalických hornin dyjského masivu. Tato místa byla podrobena geologické dokumentaci, geotechnickému zhodnocení a návrhům sanačních opatření. Terénními pracemi zde byl ověřen vysoký stupeň alterace metamorfovaných a granitoidních hornin, proto zde bylo navrženo jejich zajištění kombinací krátkých svorníků s aplikací zpevňovače kamene. V případě podzemních prostor, které byly zajištěny nestabilním cihlovým ostěním, bylo navrženo zpevnění zdiva injektováním a v případě narušeného betonového ostění bylo navrženo zpevnění kombinací krátkých svorníků se stříkaným betonem.

ABSTRACT

The submitted paper deals with the geological documentation, geotechnical assessment and proposals for securing instable underground spaces existing under the historic part of the town of Znojmo. The instability of the underground excavated spaces manifested itself on the majority of the documented locations by minor flaking of weathered rock or, in some cases, even collapses of completely weathered crystalline rock forming the Dyje Massif. These locations were subjected to geological documentation, geotechnical assessment and proposals for rehabilitation measures. The field work confirmed the high degree of the alteration of the metamorphosed and granitic rock in this location. For that reason a combination of nailing with the application of stone strengthener was proposed for the stabilisation. In the case of underground spaces supported with instable brick lining, it was proposed that the brick lining would be consolidated by grouting; in the case of disturbed concrete lining a combination of nailing and applying shotcrete was proposed.

ÚVOD

V rámci realizace stavební zakázky – „Adrenalinové trasy znojemského podzemí“ byla v únoru a březnu roku 2013 prováděna geologická dokumentace vybraných částí znojemského podzemí. Konkrétně se jednalo o jedenáct rizikových nestabilních podzemních prostor, které byly nalezeny stavebními technikami. Tato nestabilní místa byla pracovníky střediska geotechnických průzkumů podrobena geologické dokumentaci, geotechnickému zhodnocení a návrhu sanačních zásahů. Z celkem jedenácti nestabilních podzemních výrubů bylo osm bez ostění. V ostatních případech byl výrub zajištěn zvětralým cihlovým zdivem a v jednom případě porušeným betonovým ostěním. Předkládaný článek je rozdělen do tří částí. První se zabývá historií znojemského podzemí a geologií zájmového prostoru. Druhá prezentuje metodiku a výsledky geologické dokumentace a geotechnického zhodnocení nestabilních míst znojemského podzemí pro potřeby návrhu sanačních prací. Třetí část předkládá návrhy sanačních řešení nestabilních podzemních prostor. Zájmová oblast znojemského podzemí, která byla předmětem geologické dokumentace, se nachází pod historickou částí města Znojma. Půdorysně se jedná zhruba o plochu omezenou na severu Divišovým náměstím, na jihu ulicí Zámečnickou, na západě západním okrajem Horního náměstí a ulicí Zelenářskou, na východě je daná oblast přibližně souběžná s linií ulic Dolní a Horní Česká (obr. 1).

HISTORIE ZNOJEMSKÉHO PODZEMÍ

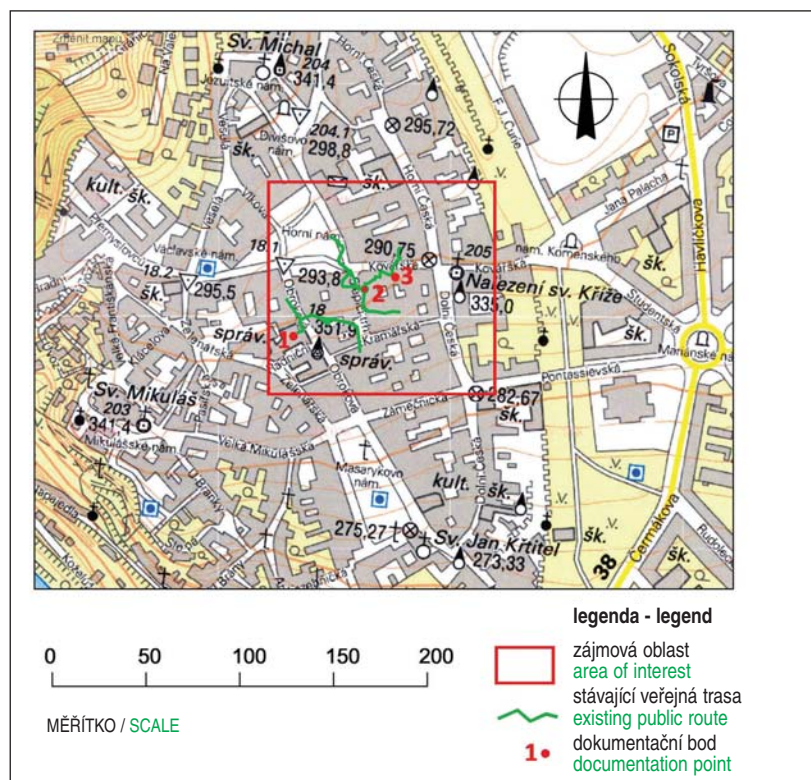
Nejstarší zmínka [1] o městě Znojme nad řekou Dyjí je z roku 1046, tehdy se jednalo pouze o vojenskou pevnost se třemi hlavními branami, s opevněním, hlavním náměstím a komunikacemi. Roku 1226 bylo Znojmo povýšeno na královské město listinou krále Přemysla Otakara I, kdy byl dán základ k úspěšnému rozvoji nejvýznamnějšího města u jižní hranice Moravy.

INTRODUCTION

The geological documentation of selected parts of the Znojmo Underground was carried out within the framework of the “Adrenaline routes through the Znojmo Underground” project in March 2013. In concrete, building technicians identified eleven risky instable underground spaces. These instable locations were subjected to geological documentation, geotechnical assessing and proposing rehabilitation interventions to be carried out by workers of the Centre of Geotechnical Investigation. Eight of the eleven instable underground spaces had no lining. In the other cases the excavated openings were supported by weathered brick lining and, in one case, by disturbed concrete lining. The submitted paper is divided into three parts. The first of them deals with the history of the Znojmo Underground and the geology of the space in interest. The other one presents the methodology and results of the geological documentation and geotechnical assessment of instable locations of the Znojmo Underground for the needs of the design for the rehabilitation work. The third part presents proposals for rehabilitation solutions for the instable underground spaces. The part of the Znojmo Underground of interest that formed the subject of the geological documentation is found under a historic part of the town of Znojmo. In the ground plan, the area is roughly delimited by Divišovo Square in the north, Zámečnická Street in the south, the western edge of Horní Square and Zelenářská Street in the west; in the east, the eastern border is roughly parallel to the line given by Dolní and Horní Česká Streets (see Fig. 1).

ZNOJMO UNDERGROUND HISTORY

The oldest mention of the town of Znojmo on the Dyje River is dated 1046. At that time it was only a military



Obr. 1 Situace zájmového prostoru s vyznačením dokumentačních bodů

Fig. 1 Situation of the space of interest with documentation points marked in it

Historický rozvoj města vyvrcholil ve 14. století, kdy došlo k rozšíření počtu kamenných budov a ulic. K měšťanským domům byly budovány i podzemní prostory. Pod tímto pojmem je zahrnován systém ražených stol, tvořících původně nižší úroveň sklepů obytných domů. Znojmské podzemí patří k unikátním historickým památkám nejen u nás, ale i v rámci střední Evropy.

Tyto prostory vznikaly postupně podle možností a potřeb měšťanů. Zpočátku se pravděpodobně jednalo o výruby minimálního a separovaného rozsahu charakteru sklepů. Později docházelo k jejich rozšiřování a propojování, a to pravděpodobně za účelem vybudování odvodňovacího systému, tzv. jezuitského vodovodu.

V počátcích docházelo pouze k mírnému rozšiřování kapacity stávajících sklepů jednotlivých měšťanských domů. Tato činnost byla zpočátku pravděpodobně plně v kompetenci samotných měšťanů. Později, když se začaly podzemní prostory rozšiřovat a prohlubovat, byli měšťané nuceni přizvat odborníky pro tuto činnost, kteří dále pokračovali v hloubení hornickým způsobem ražby odpovídající tehdejší době. Jednalo se pravděpodobně o jihlavské a kutnohorské havíře.

GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA ZNOJMSKÉHO PODZEMÍ

Geologická skladba [2] znojmského podzemí je tvořena plutonickými horninami dyjského masivu a jeho metamorfovanými ekvivalenty. V zájmové oblasti se vyskytují biotitické granity, které přecházejí do granodioritů. Kromě granitoidních hornin se zde dále vyskytují krystalické horniny ortorulového charakteru.

Všechny typy hornin dyjského masivu byly postiženy kaolinizací, v důsledku čehož došlo lokálně k tvorbě ložiskových akumulací reziduálního kaolinu plynule přecházejícího do matečné horniny. Stáří kaolinizace není jednoznačně doloženo. K tomuto procesu došlo s největší pravděpodobností ve svrchním mezozoiku až spodním terciéru.

GEOLOGICKÁ DOKUMENTACE VYBRANÝCH RIZIKOVÝCH PROSTOR

Ve dnech 27. 2. 2013 až 19. 3. 2013 byla uskutečněna geologická dokumentace celkem jedenácti vybraných nezajištěných

fortress with three main gates, fortification, the main square and roads. In 1226 Znojmo was elevated to a royal town by the Charter of King Přemysl Otakar I. The charter gave the basis for the successful development of the most important town at the southern border of Moravia.

The historic development of the town culminated in the 14th century, when the number of stone buildings and streets was further expanded. Underground spaces were also built for burgher houses. This term covers a system of mined galleries, which originally formed lower levels of cellars of living houses. The Znojmo Underground belongs among unique historic monuments not only in the Czech Republic but also within the framework of Central Europe.

The spaces were developed gradually, depending on the ability of burghers. In the beginning, minimum separated underground openings having the character of cellars were probably excavated. Later the cellars were expanded and interconnected, probably for the purpose of developing a drainage system, the so-called Jesuit Water Duct.

In the beginning, the capacity of existing cellars of individual burgher houses was only slightly expanded. This activity was in the beginning probably in the competence of burghers themselves.

Later, when the expansion and deepening of underground spaces started, the burghers had to invite mining professionals, probably miners from Jihlava and Kutná Hora [1], who continued to excavate the cellars using the mining methods of that time.

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE ZNOJMO UNDERGROUND

The geological structure of the Znojmo Underground is formed by Pluton rock types of the Dyje Massif and their metamorphosed equivalents. There are biotite granites passing to granodiorites in the area of interest. Apart from granitic rock types, there are also crystalline rock types with the character of orthogneiss there.

All types of the Dyje Massif rock were affected by kaolinisation. As a result, local deposits of residual kaolin fluently passing to the parent rock developed there. The age of the kaolinisation process has not been unambiguously documented. It probably took place during the Upper Mesozoic up to Lower Tertiary sub-periods [2].

GEOLOGICAL DOCUMENTATION OF SELECTED RISKY SPACES

The geological documentation of the total of eleven selected unsupported or insufficiently supported underground spaces under the historic centre of the town of Znojmo was carried out from the 27th February 2013 through to the 19th March 2013. These eleven locations of the Znojmo Underground that had been documented required a rehabilitation intervention as quickly as possible with respect to the high risk of collapsing or falling of the roof. Three variants of the techniques proposed for securing the instable underground spaces are described in detail below.

The methodology of geological mapping of instable openings excavated in rock was realised in compliance with ČSN

nebo nedostatečně zajištěných podzemních prostor pod historickým centrem města Znojma. Těchto jedenáct zdokumentovaných míst znojemského podzemí, vzhledem k vysokému riziku závalu nebo zřícení stropu, vyžadovalo co nejrychlejší sanační zásah. Dále jsou detailně rozepsány tři navržené varianty technologií zajištění nestabilních podzemních míst.

Metodika geologického mapování nestabilních výrubů skalních hornin byla realizována v souladu s ČSN EN ISO 14689-1 *Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařizování hornin – Část 1*.

V rámci popisu zvětralých hornin dyjského masivu byly sledovány a dokumentovány následující znaky: *název horniny, barva, stupeň zvětření a jiných alterací, odlučnost*. U horninových puklin byly sledovány, dokumentovány a zaznamenávány hodnoty následujících atributů: *směr a velikost sklonů puklinových ploch, rozteč (tj. nejmenší kolmá vzdálenost k puklině téhož systému), rozevřenost (dokumentováno na více místech téže pukliny), habitus (pukliny hladké, stupňovité, zvlněné), průběžnost (pukliny vyznívající v ploše výrubu, pukliny přesahující jedním koncem nebo oběma plochu výrubu, pukliny ukončené na jiné puklině, eventuálně kombinace výše uvedeného), délka pukliny, drsnost stěn pukliny (drsné, hladké), výplň puklin, zvodnění puklin, velikost a tvar oddělených horninových bloků*.

Z výše zmíněných jedenácti nestabilních míst byly stěny celkem osmi podzemních prostor bez ostění, tj. jednalo se o nezapažený výrub. V ostatních případech bylo ostění zajištěno porušeným cihlovým zdívem a v jednom případě porušeným betonovým ostěním. V následujícím textu budou uvedeny tři příklady vyhodnocené (*zestručněné dokumentace*) pro potřeby návrhu sanačních opatření.

Příklad č. 1

Název a lokalizace nezajištěného podzemního prostoru – dokumentační bod č. 1 (obr. 2)

Rozsah nezajištěné plochy: Jedná se o nezajištěnou plochu chodby o rozměrech 2,5x1,9 m. Celková nestabilní plocha určená k sanaci je cca 5 m².

Geologický popis: Nezajištěná stěna je budována krystalickými horninami, které jsou zcela zvětřelé na zeminy charakteru jílů písčité tuhé konzistence, třídy R6/CS. Došlo zde k závalu o objemu cca 1,5 m³. Zcela zvětralý horninový masiv je prostoupený systémem puklin, které jsou přibližně kolmé k ploše



Obr. 2 Fotodokumentace nezajištěného výrubu podzemního prostoru – dokumentační bod č. 1

Fig. 2 Photodocumentation of the unsupported excavation of the underground space – documentation point No. 1

EN ISO standard No. 14689-1 *Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of rock – Part 1*.

The following characteristics were observed and documented within the framework of the description of the weathered rock types of the Dyje Massif: *rock name, colour, degree of weathering and other alterations and jointing*. As far as rock jointing is concerned, the values of the following attributes were observed and documented: trend and magnitude of dipping of joints, frequency (i.e. the smallest perpendicular distance up to the joint of the same system), aperture (documented on several points of the same fissure), habitus (smooth, stepped, undulated joints), joint persistence (joints fading away on the excavated opening surface, joints exceeding the opening surface by one end or by both ends, joints ending at another joint, or a combination of the above-mentioned types), joint length, joint roughness (rough, smooth), joint filling, joint saturation, size and shape of separated rock blocks.

The walls of eight underground spaces of the above-mentioned eleven instable locations were not provided with a lining, which means that the excavated openings were unsupported. In the other cases the lining was formed by disturbed brick masonry and, in one case, by disturbed concrete. The examples assessed for the needs of the proposal for the rehabilitation measures (*abridged documentation*) are presented in the following text.

Example No. 1

Name and location of the unsupported underground space – documentation point No. 1 (Fig. 2)

Extent of the unsupported surface: It is an unsupported surface of a gallery with the cross-sectional dimensions of 2.5x1.9m. The total instable area designed for the rehabilitation is ca 5m².

Geological description: The unsupported wall is built by crystalline rock, which is completely weathered to earth with the character of R6/CS class, stiff sandy clay. A collapse of about 1.5m³ rock took place there. The completely weathered rock mass is permeated with a system of fissures approximately perpendicular to the surface of the excavated opening. The fissures are persistent with the spacing of 0.25m. They are straight, smooth and close. The fissures are formed by one system with an average trend and dip – 272/72.

Support design: With respect to the high degree of rock weathering and tectonic affection of the rock mass it was proposed that the area would be reinforced by nailing in combination with the application of a stone conservation agent – the first proposal (for more detail see the following chapter).

Example No. 2

Name and location of the unsupported underground space – documentation point No. 2 (Fig. 3)

Extent of the unsupported surface: It is a gallery stabilised by instable masonry. The gallery dimensions are 1.2x2.2x6.5 m (*width x height x length*). The instable area is ca 42m².

Descriptions: The gallery is lined with instable brick masonry. The filling of joints is heavily weathered and locally completely missing. There are numerous water leaks on the gallery walls.

Support design: With respect to the weathering of the brick binder and visible deformations of the lining, it was proposed that the masonry would be strengthened by grouting – the second proposal (for more detail see the following chapter).



Obr. 3 Fotodokumentace nestabilního podzemního prostoru – dokumentační bod č. 2

Fig. 3 Photodocumentation of the instable excavation of the underground space – documentation point No. 2

výrubu. Pukliny jsou průběžné s roztečí 0,25 m. Pukliny jsou rovné, hladké a uzavřené. Jedná se o pukliny jednoho systému o průměrném směru a velikosti sklonu – 272/72.

Návrh zajištění: S ohledem k vysokému stupni zvětrání hornin a tektonickému poškození horninového masivu bylo navrženo oblast vyztuzit krátkými svorníky v kombinaci s aplikací konzervačního prostředku na kámen – první návrh (podrobně viz následující kapitola).

Příklad č. 2

Název a lokalizace nestabilního podzemního prostoru – dokumentační bod č. 2 (obr. 3)

Rozsah nezajištěné plochy: Chodba zajištěná nestabilním zdivem. Jedná se o chodbu o rozměrech 1,2x2,2x6,5 m (šířka x výška x délka). Celková nestabilní plocha je cca 42 m².

Popis: Chodba je tvořena nestabilním cihlovým zdivem. Mezerní hmota je silně zvětralá a místy zcela chybí. Na stěnách chodby jsou četné výrony vody.

Návrh zajištění: Vzhledem ke zvětrání cihlového pojiva a viditelným deformacím ostění bylo navrženo zpevnění zdiva injektováním – druhý návrh (podrobně viz následující kapitola).

Příklad č. 3

Název a lokalizace nestabilního podzemního prostoru – dokumentační bod č. 3 (obr. 4)

Rozsah nezajištěné plochy: Porušené betonové ostění o rozměrech 3,0x1,5 m. Celková nestabilní plocha určená k sanaci je cca 4,5 m².

Popis: V ploše chodby se vyskytuje porušené betonové ostění, kde došlo k částečnému vyjetí bloku betonového ostění směrem do volného prostoru chodby (obr. 4).

Návrh zajištění: Zde bylo navrženo zpevnění nestabilního betonového ostění kombinací krátkých svorníků se stříkaným betonem – třetí návrh (podrobně viz následující kapitola).

Výsledkem geologických terénních prací byla následující zjištění:

- Nezajištěný horninový masiv vykazuje v prostorách nezajištěného ostění dokumentovaných oblastí vysoký stupeň alterace, místy jsou krystalické horniny zcela zvětrány na zeminy charakteru jílu středně až vysoce plastických a jílu písčitých třídy R6/CI, R6/CH, R6/CS.
- Granitoidní horniny jsou téměř na všech zdokumentovaných výrubech silně zvětralé – horniny třídy R5 (rukou lze horninu snadno rozdrobit na písčité eluvium).

Example No. 3

Name and location of the unsupported underground space – documentation point No. 2 (Fig. 3)

Extent of the unsupported surface: Disturbed concrete lining with the dimensions of 3.0x1.5m. The total instable area designed for rehabilitation is ca 4.5m².

Description: A disturbed concrete lining is found in the gallery area, where a block of the concrete lining partially slipped in the direction of the free space of the gallery.

Support design: In this case, the securing of the instable concrete lining was proposed to be carried out by a combination of nailing and shotcrete - the third proposal (for more detail see the following chapter).

The field geological work resulted into the following findings:

- The unsupported rock mass exhibits a high degree of alteration in the spaces of non-stabilised lining of the documented areas. The crystalline rock is locally completely weathered, passing into soil with the character of medium to highly plastic clay and sandy clay class R6/CI, R6/CH and R6/CS.
- Granitic rock types are heavily weathered nearly in all documented excavated openings – rock class R5 (rock can be easily crumbled by hand to sandy eluvium).
- Orthogneiss exhibits only slightly lower degree of alteration, corresponding to classes R5-R4, exceptionally R4. It is marvellous in all cases that frequent collapses and caving in do not happen in the so much altered rock environment and under the urban development.
- All of the eleven documented locations require as quick intervention as possible with respect to the high risk of potential threat to people. In addition, it is many times impossible to exclude the localisation of an instable excavation within the reach of the deformation zone of foundation structures of the urban development.

It follows from the fact that there is information in historic sources concerning the exactingness of mining operations in resistant crystalline rock and that not all free excavated spaces are found in heavily weathered crystalline rock, even decomposed by weathering, that the cases of the demonstrably proven high degree of the weathering of the Dyje massif are probably the result of selective weathering processes.

PROPOSALS FOR REHABILITATION MEASURES

This part of the paper describes in detail the proposals for increasing the stability of risky spaces of the Znojmo Underground which were documented during February and March 2013. The total of three proposals for the securing of instable excavated openings were submitted. *The first proposal* lied in supporting the instable walls of weathered crystalline rock by means of a combination of nailing and the application of Rajasil Steinfestiger OH100 stone strengthener. *The second proposal* was focused on the consolidation of the brick masonry by grouting. *The third proposal* dealt with the stabilisation – strengthening of the instable concrete lining.

The first proposal had to be divided into two stages, taking into consideration the fact that the decision on the necessity of the second stage would be made later, on the basis of the monitoring of the effectiveness of the first stabilisation stage. The reason for the division of the rehabilitation operations into two stages in time is the fact that such technical interventions are proposed within the framework of the second stage (*the application of protective nets*), which

- Ortoruly vykazují jen nepatrně nižší stupeň alterace, který odpovídá třídě R5–R4 výjimečně R4. Ve všech případech je podivuhodné, že v tak vysoce alterovaném horninovém prostředí a pod městskou zástavbou nedochází k četným závalům a vykomínování.
- Všechny jedenáct zdokumentovaných míst vzhledem k vysokému riziku potenciálního ohrožení osob vyžaduje co nejrychlejší sanační zásah. Navíc mnohdy nelze vyloučit lokalizaci nestabilního výrubu v dosahu deformační zóny základových konstrukcí městské zástavby.

Vzhledem k faktu, že se v historických pramenech nacházejí informace o náročnosti razicích prací v odolných krystalických horninách a že ne všechny volné výruby jsou zastoupeny silně zvětřalými až zcela zvětřalými krystalickými horninami, jedná se zde v případech průkazně ověřeného vysokého stupně zvětřání krystalických hornin dyjského masivu pravděpodobně o procesy selektivního zvětřávání.

NÁVRHY SANAČNÍCH OPATŘENÍ

V této části příspěvku jsou podrobně popsány návrhy zvýšení stability rizikových prostor znojemského podzemí, které byly zdokumentovány v průběhu února a března 2013. Celkem byly předloženy tři návrhy zajištění nestabilních výrubů. *První návrh* spočíval v zajištění nestabilních stěn zvětřalých krystalických hornin kombinací krátkých svorníků s aplikací zpevňovače kamene Rajasil Steinfestiger OH100. *Druhý návrh* byl zaměřen na zpevnění cihlového zdiva ostění injektováním a *třetí návrh* se týkal zajištění – zpevnění nestabilního betonového ostění.

První návrh bylo nutno rozdělit do dvou etap s tím, že o nutnosti druhé etapy se rozhodne až na základě monitoringu účinnosti první etapy zajištění. Důvodem rozdělení sanačních prací do dvou časově oddělených etap je skutečnost, že v rámci druhé etapy jsou navrženy takové technické zásahy (*aplikace záchytných sítí*), kterými dojde k jisté redukci přirozeného vzhledu nezajištěných stěn výrubů podzemních prostor.

Návrh zajištění nestabilních stěn zvětřalých krystalických hornin – I. etapa. Prvním krokem sanačních prací bude šetrné očištění viditelně zvětřalých míst. Dále bude následovat zajištění horninového masivu krátkými svorníky s rozstupem 0,5 m a délkou 0,8–1,2 m. Prostor mezi ostěním vrtu a krátkým svorníkem bude vyplněn cementovou injektáží. Z estetického hlediska bude vhodné podložku, matici a podkladovou desku svorníku zapustit do stabilizovaného očištěného výrubu tak hluboko, aby nevýčnívaly do volného prostoru. Po instalaci krátkých svorníků bude následovat očištění povrchu vodou s následnou aplikací zpevňovače kamene. Po uplynutí zhruba 2–3 týdnů, kdy dojde k vytvrdnutí zpevňovače kamene, bude realizován poslední sanační krok *I. etapy*, a tím bude aplikace povrchové transparentní hydrofobizace – *Masterseal 321B*, která se používá na kámen, cihly a pískovce.

Pozn: materiály zde navržené jsou určeny primárně pro tyto aplikace na kámen v rámci jak staveb charakteru pozemních staveb, tak pro stavby podzemní a stavby spadající pod stavby památkově chráněné. Zde uvedené materiály nenarušují podklad/stavbu a jsou pro tyto aplikace prioritně určeny, nastaveny a vyrobeny.

Návrh zajištění nestabilních stěn zvětřalých krystalických hornin – II. etapa. V případě realizace této II. etapy dojde k pevné fixaci záchytných sítí na očištěné ostění výrubu. O druhu záchytných sítí, které budou použity, a nutnosti jejich překrytí zpevňovačem kamene Rajasil Steinfestiger OH100 bude rozhodnuto až po realizaci a vyhodnocení monitoringu I. etapy sanačních prací.

Druhý návrh zajištění nestabilního cihlového ostění injektováním [4]. Po očištění cihlového zdiva se připraví infuzní vrt, které budou realizovány se sklonem 15–20° s roztečí 200 mm.



Obr. 4 Fotodokumentace nestabilního podzemního prostoru – dokumentační bod č. 3

Fig. 4 Photodocumentation of the instable underground space – documentation point No. 3

would slightly reduce the natural appearance of the unsupported walls of the excavated underground spaces.

The proposal for securing instable walls of weathered crystalline rock – stage I. The first step of the rehabilitation operations will be gentle cleansing of visibly weathered locations. The installation of excavation support using 0.8–1.2m long nails spaced at 0.5m will follow. The space between the borehole wall and the nail will be backfilled with injections of cement grout. It will be reasonable for aesthetic reasons to embed the washer, nut and faceplate into the cleansed surface of the excavation to be stabilised so that they do not protrude to free space. Cleansing of the surface with water and subsequent application of the stone strengthener will follow after the installation of the nails. When roughly 2–3 weeks period, during which the stone strengthener hardens, passes, the last rehabilitation step of *stage I* will be realised. It will lie in the application of transparent surface hydrofobisation – *Masterseal 321B*, which is applied to stone, bricks and sandstone.

Note: the materials proposed in this case are primarily designed for these applications to stone within the framework of both the underground construction character of structures and underground structures and structures belonging among listed structures. The materials presented in this paper do not disturb the sub-grade/structure and are primarily designed, adjusted and manufactured for these specific applications.

Proposal for securing instable walls of weathered crystalline rock – stage II. In the case of the realisation of this stage II, protective nets will be fixed to the cleansed surface of the excavated opening. The type of the protective nets which will be used and the necessity for their covering with Rajasil Steinfestiger OH100 stone strengthener will be decided on after the realisation of the monitoring of stage I of the rehabilitation operations and the assessment of its results.

The second proposal for securing instable brick lining by injecting grout [4]. After cleansing the brick masonry, infusion drillholes will be prepared. They will be drilled on a 15–20° incline, at 200mm spacing. The length of the drillholes – it will be specified during the realisation itself – the masonry must not get completely perforated so that the grouting mixture is not lost in the rock massif.

Délka vývrtů – bude stanovena v průběhu samotné realizace – nesmí dojít k celkové perforaci zdiva, aby nedocházelo ke ztrátě injekční směsi do horninového masivu.

Každý vrt bude samostatně napájen chemickým roztokem, a to buď metodou COX, která je založena na bázi silikonů, nebo metodou Tiazol, která je založena na bázi roztoku, který obsahuje 98 % draselného vodního skla a 2 % organokřemičitého polymeru Lukofobu.

Při napouštění vrtu se obvykle využívá hydrostatický tlak odpovídající výšce 0,5–2,0 m, tj. 0,005–0,02 MPa.

Třetí návrh zpevnění nestabilního betonového ostění instalací krátkých svorníků a stříkaným betonem. Po odstranění zbytků nestabilního betonového zdiva, které vyčnívá do volného prostoru, bude nutné očistit porušený bok chodby až na horninový masiv, který bude zajištěn krátkými svorníky. Odstraněné nestabilní betonové ostění bude nahrazeno stříkaným armovaným betonem.

ZÁVĚR

Jedenáct nestabilních rizikových podzemních prostor pod historickou částí města Znojma, které byly nalezeny stavebními technikami společnosti UNIGEO a.s. v průběhu realizace stavební zakázky – „Adrenalinové trasy znojemského podzemí“, byly podrobeny geologické dokumentaci a geotechnickému zhodnocení. Na základě vyhodnocení terénních prací byly navrženy sanační postupy zajištění nestabilních výrubů a nestabilních ostění.

Terénními geologickými pracemi byl ověřen vysoký stupeň alterace krystalických hornin. Krystalické horniny jsou na mnoha místech zcela rozvětrány na zeminy charakteru jílu středně až vysoce plastických a jílu písčitého třídy R6/CI, R6/CH, R6/CS. Granitoidní horniny jsou téměř na všech zdokumentovaných výrubech silně zvětřelé, tj. jedná se o horniny třídy R5.

Pro bezpečný pohyb v těchto podzemních lokalitách byly předloženy postupy zajištění nestabilních stěn zvětřelých krystalických hornin. Stěny a stropy podzemních výrubů budou zajištěny krátkými svorníky a následně zde bude aplikován zpevňovač kamene.

V případě podzemních prostor zajištěných zvětřelým cihlovým ostěním bylo navrženo zpevnění zdiva injektováním a v případě zajištění narušeného betonového ostění byl předložen návrh zajištění, který sestával se zajištění očištěného horninového masivu krátkými svorníky s následným překrytím stříkaným betonem.

Ing. RICHARD SKOPAL, skopal.richard@unigeo.cz,
UNIGEO a. s., divize SANEKO,
Ing. JAROSLAV RYŠÁVKA, Ph.D.,
rysavka.jaroslav@unigeo.cz,
UNIGEO a. s.

Recenzovali: doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.,
doc. RNDr. Pavel Pospíšil, Ph.D.

Each drillhole will be fed with the chemical solution using either the COX method, which is based on the basis of silicones, or the Tiazol method, which is based on a solution containing 98% of potassium silicate and 2% of Lukofob organosilicon polymer.

Hydrostatic pressure corresponding to the height of 0.5–2.0m, i.e. 0.005–0.02MPa, is usually used when the drillhole is being filled.

The third proposal for strengthening instable concrete lining by means of nailing and shotcrete. After removing remains of instable concrete masonry protruding into free space, it will be necessary to cleanse the disturbed wall of the gallery down to the rock massif to be stabilised by nailing. The removed instable concrete lining will be replaced with reinforced shotcrete.

CONCLUSION

The eleven instable risky underground spaces under the historic part of the town of Znojmo which were found by construction technicians of Unigeo a. s. during the realisation of the construction contract – “Adrenaline routes through the Znojmo Underground” were subjected to geological documentation and geotechnical assessment. Rehabilitation procedures were proposed for securing the instable excavated spaces and instable linings.

The high degree of alteration of the crystalline rock was confirmed by field geological work. In some locations the crystalline rock is completely weathered and decomposed to soil with the character of medium to highly plastic clay and sandy clay, class R6/CH, R6/CS. The granitic rock is heavily weathered nearly in all documented excavation spaces. It is therefore categorised as class R5 rock.

The procedures for securing instable walls of the weathered crystalline rock were submitted with the aim of allowing safe movement in these underground localities. The walls and roofs of the underground excavation spaces will be stabilised by nailing and stone strengthener will be applied subsequently.

In the case of underground spaces stabilised by weathered brick masonry, grouting was proposed for the strengthening of the masonry and, in the case of the stabilisation of the disturbed concrete lining, a proposal was submitted for the support consisting on nailing the cleansed rock massif and subsequently applied shotcrete.

Ing. RICHARD SKOPAL, skopal.richard@unigeo.cz,
UNIGEO a. s., divize SANEKO,
Ing. JAROSLAV RYŠÁVKA, Ph.D.,
rysavka.jaroslav@unigeo.cz,
UNIGEO a. s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] JANKŮ, V. *Historie Znojma v obrazech*. Brno: K-public., 2006, 296 s. ISBN 80-9025-047-5
- [2] MÍŠAŘ, Z. a kol. *Geologie ČSSR I*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, n. p., 1983, 336 s.
- [3] CHLUPÁČ, P. a kol. *Geologická minulost České republiky*. Praha: Academia, 2002, 436 s.
- [4] TURČEK, P. a kol. *Zakládání staveb*. Bratislava: Jaga Group, s. r. o., 2005, 302 s. ISBN 80-8076-023-3
- [5] ČSN EN ISO 14688-1 *Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařizování zemin – Část 1: Pojmenování a popis*. Praha: Vydavatelství Český normalizační institut, 2003, 36 s.
- [6] GEOPORTÁL ČÚZK. Geoportál v resortu Českého úřadu zeměměřického a katastrálního [online]. Dostupné na <<http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/>>

POUŽITÍ HYPOPLASTICKÉHO MODELU JEMNOZRNNÝCH ZEMIN PŘI NUMERICKÉM MODELOVÁNÍ RAŽBY METODOU NRTM

APPLICATION OF HYPOPLASTIC MODEL OF FINE-GRAINED SOILS IN NUMERICAL MODELLING OF NATM TUNNELLING

TOMÁŠ KADLÍČEK, TOMÁŠ JANDA, MICHAL ŠEJNOHA, JOSEF KUŇÁK,
MARTINA URBÁNKOVÁ

ABSTRAKT

Článek se věnuje použití hypoplastického materiálového modelu pro jemnozrnné zeminy na příkladu přístupového tunelu vybudovaného jako součást prodloužení trasy metra A. Model byl vytvořen v programu Geo5 MKP – Tunel, jenž řeší 2D úlohu rovinné deformace. Pro tuto studii byl vytvořen numerický model s rozdělením horninového profilu do vrstev navážky, sedimentů a břidlice. Pro vrstvu sedimentů byl použit hypoplastický materiálový model. Chování ostatních vrstev bylo popsáno Mohr-Coulombovým materiálovým modelem. Pro posouzení účinku hypoplastického modelu na výsledky numerické analýzy byla rovněž vytvořena úloha s použitím modelu Mohr-Coulomb i ve vrstvě sedimentů. Výsledky obou úloh byly následně porovnány se skutečnými konvergenčními měřeními prováděnými v průběhu výstavby.

ABSTRACT

The paper is dedicated to the application of a hypoplastic material model to fine-grained soil presented on an example of an access tunnel carried out as a part of the extension of the metro line A. The model was developed using the Geo5 FEM – Tunnel, which solves the 2D problem of plain-strain deformation. The numerical model which was developed for the purpose of this study divides the ground profile into layers of man-made ground, sediments and shale. The hypoplastic material model was applied to the layer of sediments. The behaviour of the other layers was described by the Mohr-Coulomb material model. In addition, a problem applying the Mohr-Coulomb model to the layer of sediments was created for the purpose of the assessment of the influence of the hypoplastic model on the results of the numerical analysis. The results of the solution to both problems were subsequently compared with the real convergence measurements conducted during the construction.

1. ÚVOD

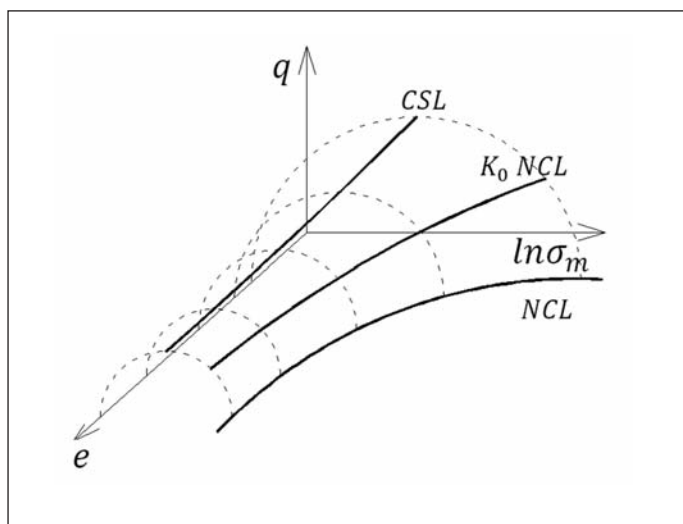
Byť byla v relativně nedávné době představena teorie hypoplasticity a v součinnosti i hypoplastické modely pro hrubozrnné a později též pro jemnozrnné zeminy [3], je jejich použití spíše ojedinělé a inženýrská praxe se stále orientuje především na použití tradičních konstitutivních modelů typu Mohr-Coulomb (MC). Důvodem je nejen jejich jednoduchost, ale zejména dostupnost materiálových parametrů modelu, jejichž určení lze provést jednoduše podle základních laboratorních zkoušek, případně stanovit na základě standardního zařazení zemin. Je však dobré si uvědomit, že tyto modely neumožňují věrohodně popisovat některé základní vlastnosti zeminy, jako například závislost tuhosti na napětí, na historii zatěžování či schopnost zeminy dilatovat v závislosti na jejím ztuhnutí. Formulace hypoplastického materiálového modelu na druhou stranu většinu těchto aspektů skutečného chování zemin zohledňuje. Přitom i zde lze hovořit o použití základních parametrů zeminy, neboť jejich stanovení vyžaduje pouze základní laboratorní měření, jakými jsou oedometrická a triaxiálová zkouška, případně jednoduché numerické testy [5]. Základní překážkou jejich rozšíření tak zůstává jejich stanovení na základě standardního zařazení a nízká informovanost. Snahou přiblížit hypoplastické modely širší veřejnosti jsou nejen obsáhlé monografie [8, 9], projekt TAČR TA04031604 s cílem vytvořit širokou databázi materiálových parametrů těchto typů modelů pro dostatečně širokou skupinu zemin, ale i tento článek věnovaný užití hypoplastického materiálového modelu pro jemnozrnné zeminy (HJ) na příkladu reálné konstrukce přístupového tunelu vybudovaného jako součást prodloužení trasy metra A, viz odst. 3.

V článku jsou prezentovány výsledky numerické analýzy ražby tunelu s použitím HJ modelu pro vrstvu sedimentů, pro kterou bylo provedeno v rámci projektu TAČR TA01030245

1. INTRODUCTION

Despite the fact that the hypoplastic theory in combination with hypoplastic models for granular and later also fine-grained soils was introduced relatively recently [3], their application is rather sporadic and the engineering practice still orients itself first of all to the use of traditional constitutive models of the Mohr-Coulomb (MC) type. The reason lies not only in their simplicity but also in the availability of the material parameters of the model, the determination of which can be carried out by basic laboratory tests on the basis of the standard soil classification. It is nevertheless reasonable to realise that these models do not allow for the plausible description of some basic properties of soil, for example the dependency of stiffness on stress, on the loading history or the capability of soil to dilate depending on its compaction. On the other hand, the formulation of the hypoplastic material model takes the majority of these aspects of the actual behaviour of soil into consideration. It is true that it is possible to speak about the use of basic soil parameters even in this case because their determination requires only basic laboratory measurements, i.e. the oedometer and triaxial tests, or simple numerical tests [5]. The fundamental obstacle for their spreading therefore remain to be their determination on the basis of standard classification and the low level of awareness. The efforts to give an idea of hypoplastic models to the wider public is presented not only by extensive monographs [8, 9], the TAČR TA04031604 project with the aim of developing a wide database of material parameters of these model types for sufficiently wide group of soils, but even this paper dedicated to the application of a hypoplastic material model to fine-grained soils (HJ), which is demonstrated on the example of a real structure of an access tunnel built as a part of the extension of metro line A, see paragraph 3.

The paper presents the results of a numerical analysis of driving the tunnel applying a HJ model to the layer of sediments



Obr. 1 Zobrazení plochy SBS
Fig. 1 Depiction of the SBS surface

rozsáhlé experimentální měření. Postup kalibrace jednotlivých materiálových parametrů modelu, které jsou pro ilustraci blíže popsány v následujícím odst. 2, je podrobně popsán v [5]. Vzhledem k tomu, že v rámci experimentálního programu byly stanoveny i parametry MC modelu, byl numerický model (viz odst. 4) testován také s použitím MC modelu pro vrstvu sedimentů a oba výpočty byly porovnány s konvergenčními měřeními tunelového tělesa, viz odst. 5. Na obdobné téma pojednává také publikace [4], kde se pro úlohu zvolila realizace Královopolských tunelů.

2 HYPOPLASTICKÝ MODEL

Prvními modely, které se snažily vystihnout chování zemin v závislosti na míře ulehlosti, byly modely kritického stavu typu Cam clay, které vedle konstantních materiálových parametrů zavedly též stavové proměnné. Materiálové parametry typicky určují polohu a sklon linie normální konsolidace (NCL – normal consolidation line), popřípadě linie kritického stavu (CSL – critical state line) v prostoru $e \times \ln(\sigma_m)$, kde e je číslo pórovitosti a σ_m střední napětí, nebo kritický úhel vnitřního tření ϕ_c . Další zpřesňování materiálových modelů kritického stavu řízené zejména snahou charakterizovat typické plastické chování zemin během zatěžování vedlo ke vzniku značně komplikovaných modelů, jejichž implementace, náročnost výpočtu i složitost získání parametrů však bránilo jejich širšímu uplatnění v praktických úlohách.

Spojením teorie hypoplasticity a principů modelů kritického stavu vznikl hypoplastický model pro jemnozrnné zemiiny [3]. Tento model je v základní verzi charakterizován pěti materiálovými parametry (λ^* , κ^* , N , ϕ_c , r). Na rozdíl od MC modelu však nedefinuje typickou plochu plasticity v prostoru hlavních napětí, nýbrž tzv. mezní plochu stavu (SBS – state boundary surface) v prostoru $e \times q \times \sigma_m$ (obr. 1), kde q je ekvivalentní deviatorické napětí. Tato plocha ohraničuje všechny přípustné stavy. Její tvar je definován parametry λ^* , κ^* a ϕ_c .

Parametry HJ modelu lze rozdělit na ty, jež je možné získat z edometrické zkoušky či z průběhu izotropní komprese (λ^* , κ^* , N) a na ty, které se získají z triaxiální smykové zkoušky (ϕ_c , r). Parametry λ^* a N určují průběh linie NCL v prostoru $\ln(\sigma_m) \times \ln(e + 1)$. Jak je patrné z obr. 2, parametr N určuje pozici NCL a λ^* je její směrnici. Jelikož může překonsolidace vzorku zamezit přesnému určení těchto parametrů, je vhodné tyto dva parametry určit na základě edometické zkoušky na rekonstituovaném vzorku, což je vzorek

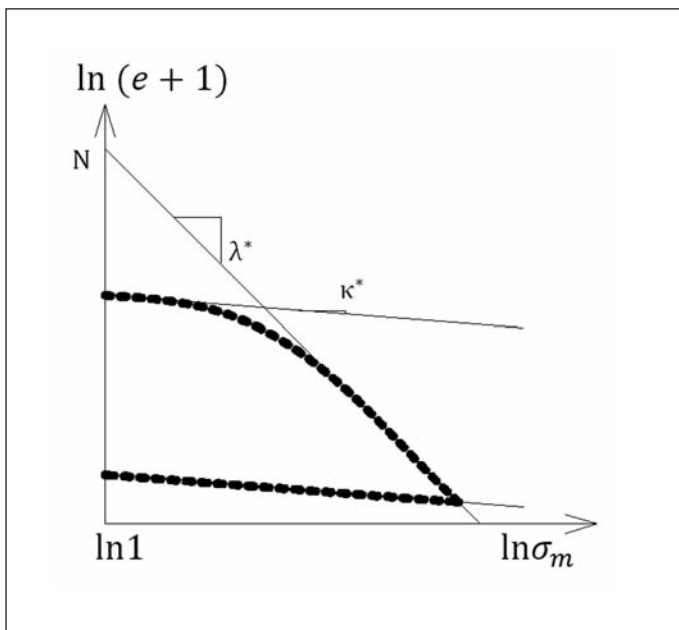
for which extensive experimental measurements were conducted within the framework of the TAČR TA01030245 project. The process of the calibration of individual material parameters of the model, which are for illustration described in more detail in paragraph 2 below, is described in [5]. With respect to the fact that even the MC model parameters were determined within the framework of the experimental programme, the numerical model (see paragraph 4) was also tested using the MC model for the layer of sediments. The two analyses were compared with the convergence measurements of the tunnel body, see Paragraph 5. A similar topic is also dealt with in the publication [4], where the realisation of the Královo Pole tunnels was chosen for the definition of the problem.

2 HYPOPLASTIC MODEL

The Clam-Clay type of models of critical state, which introduced state variables in addition to constant material parameters, were the first models trying to give a true picture of the behaviour of soils depending on the density index. Material parameters typically determine the position and inclination of the normal consolidation line (NCL) or of the critical state line (CSL) in the space $e \times \ln(\sigma_m)$, where e is the void ratio and σ_m is the mean stress, or the critical angle of internal friction ϕ_c . Other refining of material models of the critical state driven by the effort to characterise the typical plastic behaviour of soils during imposing a load led to the origination of significantly complicated models, the implementation of which, exactingness of analysis and complexity of obtaining the parameters prevented the wider application of the models to practical problems.

A hypoplastic model for fine-grained soils [3] was developed by combining the theory of hypoplasticity and principles of the models of critical states. This model in the basic version is characterised by five material parameters (λ^* , κ^* , N , ϕ_c , r). However, in contrast with the MC model, this model defines the state boundary surface (SBC) in the state $e \times q \times \sigma_m$ (see Fig. 1), where q is the equivalent deviatoric stress, instead of defining the typical plane of plasticity in the space of main stresses. This surface bounds all permissible states. Its shape is defined by parameters λ^* , κ^* and ϕ_c .

The HJ model parameters can be divided into parameters which can be derived from the oedometer test or from the isotropic compression curve (λ^* , κ^* , N) and parameters we can derive from the triaxial shear test (ϕ_c , r). Parameters λ^* and N determine the NCL 3D curve $\ln(\sigma_m) \times \ln(e + 1)$. As obvious from Fig. 2, parameter N determines the NCL position and λ^* is its angular coefficient. Because of the fact that overconsolidation of a sample may prevent exact determination of these parameters, it is recommendable to determine these two parameters on the basis of an oedometer test conducted on a reconstituted sample, which is a sample with a disintegrated internal structure prepared from mash with the consistency exceeding the liquid limit. Parameter κ^* controls the non-linear course of the extraction and it is therefore reasonable to determine it on the basis of a parameter study during which the calculated and measured extraction curves are compared in the $\ln(\sigma_m) \times \ln(e + 1)$ space. The critical angle of internal friction ϕ_c determines the inclination of the critical state line and, as mentioned above, it is determined on the basis of the triaxial test in the space $t' \times s'$. To determine the ϕ_c inclination we inset a line through the zero and the values of critical state for individual chamber stresses. The last parameter is r . It controls the ratio between the bulk modulus (K) and shear modulus (G). This parameter is determined on the basis of a parameter study on the triaxial



Obr. 2 Zobrazení izotropní zkoušky v logaritmickém měřítku
Fig. 2 Depiction of the isotropic test in a logarithmic scale

s rozrušenou vnitřní strukturou připravený z kaše s konzistencí nad mezí tekutosti. Parametr κ^* kontroluje nelineární průběh při odtěžování vzorku, a proto je vhodné jej určit na základě parametrické studie, při které je porovnávána vypočítaná a změřená odtěžovací křivka v prostoru $\ln(\sigma_m) \times \ln(e + 1)$. Kritický úhel vnitřního tření ϕ_c určuje sklon linie kritického stavu a jak již bylo řečeno, určí se na základě triaxiální zkoušky v prostoru $t' \times s'$. Pro určení sklonu ϕ_c se proloží přímkou počátkem a hodnotami kritického stavu pro jednotlivá komorová napětí. Posledním parametrem je r , jenž řídí poměr objemového (K) a smykového (G) modulu. Tento parametr se určí na základě parametrické studie triaxiální zkoušky v prostoru $\varepsilon_a \times q$. Jako jedinou stavovou proměnnou je třeba určit počáteční číslo pórovitosti e_0 . Jelikož se e_0 může lišit jak pro edometrické, tak pro triaxiální zkoušky, je vhodné jej určit jako počáteční stav pro každou zkoušku zvlášť.

Pro obor velmi malých deformací ($\varepsilon < 0,001\%$) je model rozšířen o dalších pět parametrů (m_R , m_T , R , β_r , χ), pro jejichž určení je již zapotřebí speciálních bender-element testů a zkoušky s použitím lokálních snímačů deformací. Model v tomto případě uvažuje čistě elastickou deformaci, kterou vykazují samotná zrna zeminy. Parametry m_R a m_T kontrolují počáteční smykový modul pro velmi malé deformace, při změně směru deformace o 180° a při počátečním zatěžování (m_R) a při změně deformace o 90° (m_T). Tento smykový modul nabývá v oboru velmi malých deformací násobků smykového modulu při běžných deformacích. Parametr R určuje rozsah deformace, ve které je takto zvýšená tuhost uvažována. Parametry β_r a χ řídí průběh změny smykové tuhosti při přechodu z velmi malých deformací do běžných deformací. Určí se tedy parametrickou studií křivky degradace smykového modulu v prostoru $G \times \varepsilon_s$.

Více informací o tomto modelu a také o tom, jakým způsobem se jeho jednotlivé parametry kalibrují na základě laboratorních zkoušek jak pro jeho základní, tak pro jeho rozšířenou verzi, poskytuje [5].

3 POPIS STAVBY

Pro účely numerického výpočtu byla zvolena výstavba přístupového tunelu při ulici Kanadská. Tunel byl proveden ze stavební jámy E1 na stavebním objektu S02, kde S02 označ-

test in space $\varepsilon_a \times q$. It is necessary to specify the initial void ratio e_0 to be the only state variable. Because of the fact that e_0 may be different for both the oedometer and triaxial tests, it is advisable to specify it separately for each of the tests.

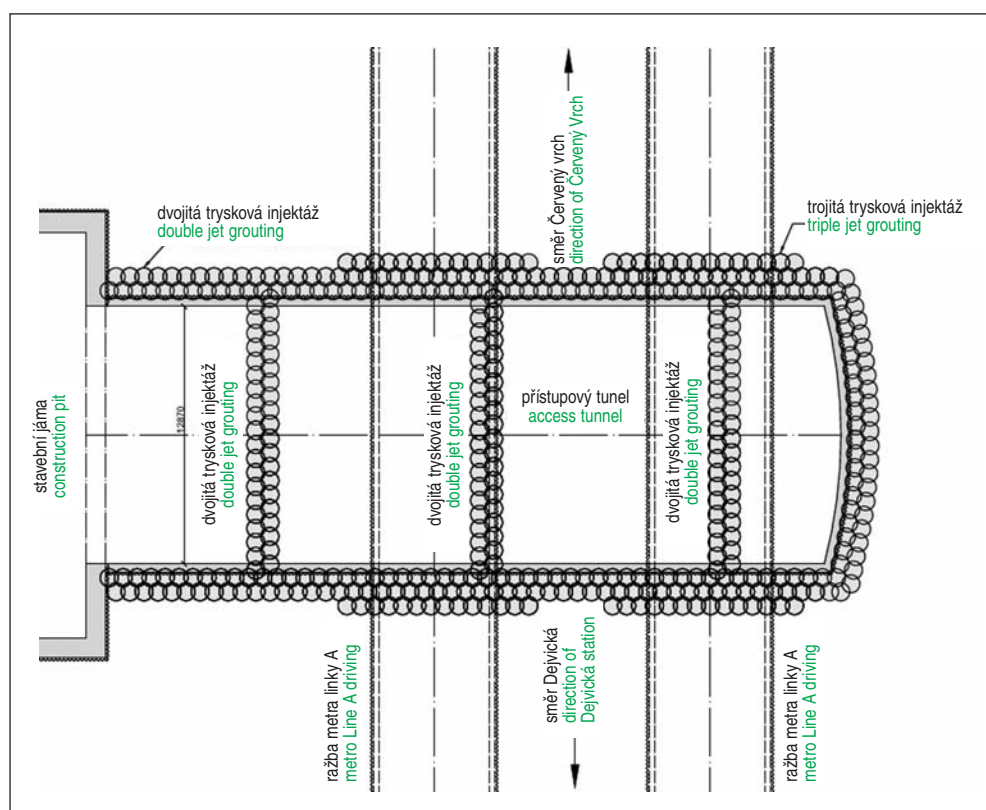
For the range of very small deformations ($\varepsilon < 0.001\%$), the model is expanded by five additional parameters (m_R , m_T , R , β_r , χ), the determination of which requires special bender-element tests and tests using local deformation gauges. In this case, the model takes into consideration the purely elastic deformation exhibited by soil grains themselves. Parameters m_R and m_T control the initial shear modulus for very small deformations, at the deformation direction changed by 180° at the initial loading rate (m_R) and the deformation direction changed by 90° (m_T). In the range of very small deformations this shear modulus value assumes multiples of the shear modulus for common deformations. Parameter R determines the extent of the deformation for which the stiffness increased in this way is assumed. Parameters β_r and χ control the case of the change in the shear stiffness in the case of the transition from very small deformations to common deformations. It means that the parameter study determines the curves for the degradation of the shear modulus in the space $G \times \varepsilon_s$.

More information on this model and on the method of the calibration of individual parameters on the basis of laboratory tests, both for the basic and extended versions, is available in [5].

3 CONSTRUCTION DESCRIPTION

The construction of the access tunnel near Kanadská Street was chosen for the purpose of the numerical analysis. The tunnel was driven from E1 construction pit excavated for driving tunnels with EPB TBM machines between construction pit E2 and Dejvická station on metro Line A (construction lot SO2). The access tunnel is in a position perpendicular to the metro excavation route. The EPB TBM machines ran through this access tunnel up to Dejvická station. Subsequently, the machines were disassembled, pulled back through the access tunnel and lifted from E1 construction pit to the surface by means of a bridge crane.

It is true that there are no existing buildings above the access tunnel. Nevertheless, the tunnel passes under Evropská Street, which is significantly burdened by traffic. Great demands were therefore placed on its construction with the objective of minimising the development of any deformation to a maximum, therefore minimising the impact on the existing infrastructure. The exactingness of this task was contributed by complicated geological conditions in the form of insufficiently compacted roadway sub-grade, cavities discovered in the layer of Quaternary sediments and the utility networks led along Evropská Street. For this purpose the tunnel cross-section excavation was divided into three excavation sequences, i.e. left-hand top heading, right-hand top heading and invert. In addition, it was divided longitudinally into four sections by a system of double jet-grouted walls with the diameter of columns of 900mm. The tunnel was also stabilised by double jet grouting columns carried out from the surface. The wall thickness was increased in the future TBM breakthrough locations by triple grouting (see Fig. 3). Horizontal jet-grouted columns and glassfibre reinforced plastic anchors installed in pre-drilled holes and subsequently encapsulated with concrete were used for reinforcing the advance core. These measures were designed to increase the stiffness of the tunnel advance core and alleviate



Obr. 3 Výřez ze situace stavební jámy a přístupového tunelu

Fig. 3 Detail of the construction pit and access tunnel layout

je ražbu mechanizovanými štíty EPBS mezi stavební jámou E2 a stanicí metra A Dejvická. Přístupový tunel tak stojí kolmo k trase ražby metra. Štíty tímto přístupovým tunelem pokračovaly bez zastavení až do stanice Dejvická, později byly oba stroje rozebrány, vytaženy přístupovým tunelem a vyzdviženy na povrch pomocí mostového jeřábu ze stavební jámy E1.

Nad přístupovým tunelem není sice umístěna žádná zástavba, nicméně tunel podchází pod ulicí Evropská, jež je značně zatížena dopravou. Na jeho výstavbu byly tudíž kladeny značné nároky s cílem maximálně omezit vznik jakýchkoliv deformací a minimalizovat tak dopad na stávající infrastrukturu. Ke složitosti této úlohy přispívaly také náročné geologické podmínky v podobě nedostatečně zhutněných podkladních vrstev vozovky, dutiny objevené ve vrstvě kvartérních sedimentů a inženýrské sítě vedené ulicí Evropská. Za tímto účelem byl tunel rozdělen po výšce na tři ražené části, levou kalotu, pravou kalotu a invert. V podélném směru pak byl rozdělený do čtyř sekcí systémem stěn z dvojité tryskové injektáže o průměru 900 mm. Po obvodu byl tunel zabezpečen dvojitou tryskovou injektáží provedenou z povrchu terénu. Stěna byla zesílena v místech budoucí prorážky razicími štíty na trojitou injektáž (obr. 3). Pro ztužení jádra před čelbou tunelu se využily horizontální pilíře tryskové injektáže a laminátové kotvy osazené do předvrtaných otvorů a následně zainjektované. Tato opatření měla ztužením jádra tunelu zmírňovat předkonvergenční procesy a extruzi čelby, a tím rovněž zmírňovat vznikající deformace. Technologie tohoto ztužení se využívá při tunelování metodou ADECO-RS [10], při kterém ovšem, na rozdíl od této stavby, dochází k výrubu celého zabezpečeného profilu tunelu.

Při výstavbě tunelu se nejprve provedla ražba levé kaloty až po přepážku z tryskové injektáže, která stabilizovala dočasnou čelbu tunelu. V ražbě se pokračovalo pravou kalotou s postupným demolováním dělicí stěny mezi kalotami. Po

the pre-convergence processes and the extrusion of the excavation face. This stiffness increasing technology is used in tunnelling by the ADECO-RS method [10], which allows the excavation of the whole stabilised tunnel cross-section.

First, the left-hand top heading part was excavated during the tunnel construction, up to the jet-grouted dividing wall, which stabilised the temporary tunnel excavation face. The excavation proceeded by excavating the right-hand part of the top heading, concurrently with step-wise demolition of the dividing wall between the top headings parts. After the completion of the jet-grouting fan for the next section, the excavation of the invert commenced. The knowledge of the excavation procedure and the tunnel geometry were taken advantage of when the numerical model was being developed.

4 NUMERICAL MODEL

The numerical model was developed using the Geo5 FEM software, the Tunnel module [2]. The software assumes the solution to a 2D problem in the conditions of planar deformation. The numerical analysis of the process of excavation is based on the Convergence Confinement Method; it is divided into several phases. In the first analysis phase, we model the primary state of stress, where the common ground pressure (primary stress) acts in the location of the future excavation. In the other analysis phases we model the gradual loading by λ -times stress value, acting on the unsupported excavated opening. Subsequently the primary lining is introduced and is loaded by the remaining $(1-\lambda)$ -times stress. The objective of this method is to take into consideration the gradual development of deformations and the transfer of the load acting on the lining depending on the excavation progress.

In reality, deformations slowly grow in the imaginary cross-section due to the pre-convergence processes. The rate of deformation reaches the maximum at the moment when the excavation face passes through this cross-section. The deformation development rate gradually drops with the increasing distance from the excavation face, until the deformation rate settles on a final value. In the Convergence Confinement Method, the initiation of deformations is caused by the removal of the above-mentioned proportion of the primary stress. The determination of the optimum value of this proportion is not easy and is influenced by many factors: geological conditions in the excavation location, the area of the excavated cross-section and its division, the excavation advance round length or the time necessary for the activation of the primary support. It applies in general that the larger proportion of the loading by the ground pressure we allow to act, the larger deformations of the ground massif in the surroundings of the excavation and the smaller inner forces in the primary lining. Other details are available, for example, in [6, 8, 9].

provedení vějíře z tryskové injektáže pro další sekci se přistoupilo k ražbě invertu. Znalost postupu ražby a geometrie tunelu se využila při vytváření numerického modelu.

4 NUMERICKÝ MODEL

Numerický model byl vytvořen v programu Geo5 MKP, modul Tunel [2]. Program předpokládá řešení dvourozměrné úlohy v podmínkách rovinné deformace. Numerický výpočet procesu ražby je založen na metodě opěrných napětí (Convergence confinement method) a je rozdělen do několika fází. V první fázi výpočtu se modeluje primární napjatost, kdy v místě budoucího výrubu působí obecně horninový tlak (primární napětí). V dalších fázích výpočtu se modeluje postupné zatěžování jednak nevystrojeného výrubu, a to λ -násobkem primárního napětí a následně zavedení primárního ostění a jeho zatížení zbylým $(1-\lambda)$ -násobkem napětí. Cílem metody je tedy zohlednit postupný vývoj deformací a přenos zatížení na ostění v závislosti na postupu ražby.

Ve skutečnosti vlivem předkonvergenčních procesů dochází v myšleném řezu s blížící se čelbou k pozvolnému nárůstu deformací. Rychlost deformace dosáhne maxima v okamžiku, kdy čelba tímto řezem prochází. S narůstající vzdáleností čelby se vývoj deformací postupně snižuje, až dojde k jejich ustálení na konečné hodnotě. V metodě opěrných napětí je iniciace deformací způsobena odstraněním již zmíněného podílu primárního napětí. Stanovení optimální hodnoty tohoto podílu není snadné a je ovlivněno mnoha faktory: geologickými podmínkami v místě ražby, plochou výrubu a jeho členěním, délkou záběru či časem nutným pro aktivaci primárního ostění. Obecně platí, že čím větší podíl zatížení tlakem horniny se nechá působit na nevystrojený výrub, tím větší budou deformace horninového masivu v okolí výrubu a naopak menší vnitřní síly v primárním ostění. Další podrobnosti lze nalézt např. v [6, 8, 9].

V každém případě lze touto metodou modelovat pouze konečný stav, kdy dojde k ustálení deformací. Určité zpřesnění výpočtu při zachování dvourozměrného výpočetního modelu umožňuje program 2D3D [7] vyvinutý v rámci projektu TAČR TA01030245. Tento program respektuje postupný proces výstavby tunelu, korektní přenos zatížení jednak na již vybudované ostění během ražby nevystrojeného výrubu a jednak na nově budované ostění tím, že do modelu zavádí třetí rozměr a tvar poklesové kotliny na základě konvergenčních měření prováděných v podélném směru tunelu, a to jak před čelbou, tak i za ní. Více podrobností lze nalézt v [7, 8].

4.1 Výchozí model

Pro pilotní výpočty byl použit výpočetní model poskytovaný společností Metroprojekt Praha a.s. [1] zahrnující všechny podstatné výztužné prvky stavby (oblasti s tryskovou injektáží, prokotvenou oblast čelby) a detailní geologický řez vytvořený na základě inženýrskogeologického průzkumu. Ve výpočtu rozděleném do deseti fází byla zohledněna postupná ražba odpovídající členění čelby a narůstající tuhost postupně tuhnutí betonu primárního ostění. Pro potřeby posouzení vlivu materiálového modelu byl model uvedený v tomto článku zjednodušen. Zčásti byla upravena geometrie, která uvažuje vodorovný terén. Dále byl redukován počet vrstev geologického řezu, což umožnilo použít hypoplastický model v celém horizontu tvořeném jílovými sedimenty.

4.2 Geometrie modelu

Profil numerického modelu byl po výšce rozdělen do tří vrstev, obsahující vrstvu navážky, vrstvu sedimentů a vrstvu břidlic. Toto rozdělení se provedlo na základě získaných

In any case, we are able to use this method for modelling only the final state, when the deformation rate settles. Certain refining of the analysis when the two-dimensional analysis model is maintained is possible when the 2D3D software [7] developed within the framework of the TAČR TA01030245 project is used. This software respects the gradual process of tunnel construction, the correct transfer of loading acting on both the already completed lining during the excavation of the unsupported opening and on the newly built lining by introducing the third dimension and shape of the settlement trough into the model on the basis of convergence measurements conducted in the longitudinal tunnel direction, both ahead of the excavation face and behind it. For more information see [7, 8].

4.1 Starting model

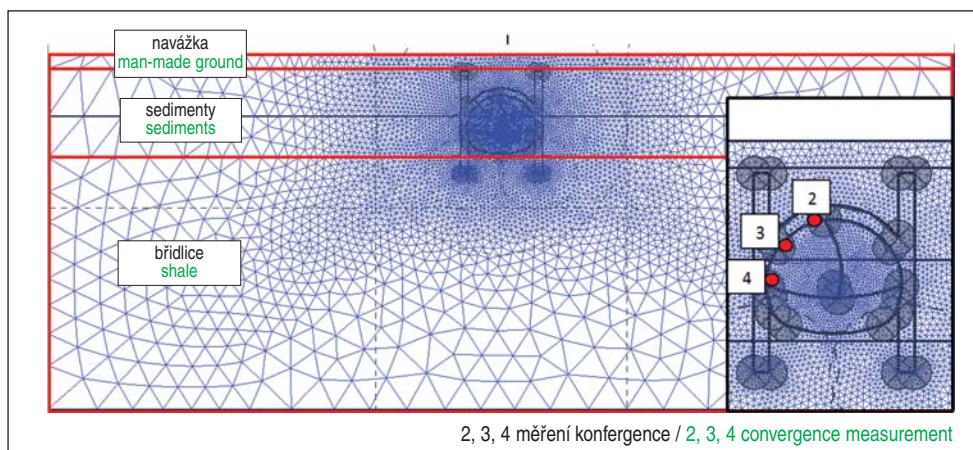
The analysis model provided by Metroprojekt Praha a.s. [1] was used for the pilot calculations. It contained all substantial support elements of the construction (areas stabilised by jet grouting, the excavation face areas stabilised by anchors) and a detailed geological profile developed on the basis of engineering geological survey. The gradual excavation process corresponding to the division of the excavation face and the growing stiffness of the gradually setting primary lining concrete was taken into consideration in the analysis divided into ten phases. The model presented in this paper was simplified for the needs of the assessment of the influence of the material model. The geometry taking into account the horizontal terrain was partially modified. In addition, the number of the layers of the geological profile was reduced. It allowed for the application of the hypoplastic model to the entire horizon formed by clay sediments.

4.2 Model geometry

The profile of the numerical model was divided vertically into three layers comprising a man-made ground layer, a layer of sediments and a shale layer. This division was carried out on the basis of obtained materials containing the description of the ground profile [1]. The thickness of the vertical jet grouting wall was chosen, with respect to the overlapping of individual 900mm-diameter jet-grouted columns, to be 1.6m. The shape of the fan supporting the tunnel roof was created according to the coordinates of the setting out points found in drawings [1]. The finite element grid was generated with the basic element dimension of 1m. The grid density was increased to the spacing of 0.2m toward the tunnel body centre and at the toes of the jet-grouted walls for the purpose of obtaining as accurate results of the analysis in important areas as possible. The exactingness of the analysis was lowered by reducing the grid density by increasing the spacing to 10m at the problem boundaries, where significant deformations are not encountered. These modifications are well visible in Fig. 4.

4.3 Measured points

The geometry and the grid of the final elements of the created numerical model with points No. 2-4 on which the measurement was conducted is presented in Fig. 4. These measurements were subsequently used for comparing with the deformations determined by the analysis. The measurement on these points continued without interruption throughout the excavation period. For that reason these points are most suitable for comparing with the numerical model. The other points were either fixed in the lining the surroundings of which suffered deformations already during the excavation of the left-hand top heading or points the measurements on which were interrupted because of the necessity to remove the temporary primary lining.



Obr. 4 Zobrazení sítě konečných prvků a měřených konvergenčních bodů po výrubu
Fig. 4 Depiction of the FEM grid and the convergence points measured after the excavation

materiálů obsahujících popis zemního profilu [1]. Tloušťka svislé tryskové injektáže byla zvolena s přihlédnutím k překrývání jednotlivých válců tryskové injektáže průměru 900 mm na tloušťku 1,6 m. Tvar vějíře zajišťující strop tunelu byl vytvořen podle souřadnic vytyčovacího bodu z výkresové dokumentace [1]. Síť konečných prvků byla generována s velikostí základního prvku 1 m. Pro získání co nejpřesnějších výsledků výpočtu ve významných oblastech byla síť zahuštěna na velikosti 0,2 m ke středu tunelového tělesa a u pat stěn z tryskové injektáže. Pro snížení náročnosti výpočtu byla síť při okrajích úlohy, kde nedochází k významným deformacím, nařazena na velikost 10 m. Tyto úpravy jsou dobře patrné na obrázku obr. 4.

4.3 Měřené body

Na obr. 4 je znázorněna geometrie a síť konečných prvků vytvořeného numerického modelu tunelu s vyznačenými body 2–4, na kterých bylo provádělo měření konvergence tunelu. Tato měření následně posloužila pro porovnání s deformacemi stanovenými výpočtem. Měření v těchto bodech probíhalo bez přerušení po celou dobu ražby, a proto jsou tyto body nejvhodnější pro porovnání s numerickým modelem. Ostatní body se buď osazovaly na ostění, jehož okolí se již deformovalo během ražení levé kaloty, nebo bylo jejich měření v čase přerušeno z důvodu odstranění dočasného primárního ostění.

4.4 Materiálové modely

Jak je patrné z obr. 4, byl geotechnický řez rozdělen do tří vrstev. Neboť pro tyto vrstvy nebyly přímo provedeny laboratorní zkoušky, bylo jejich chování ve výpočtu řízeno MC materiálovým modelem s parametry definovanými na základě zatřídění podle dnes již neplatné normy ČSN 73 1001. Pro vrstvu sedimentů bylo provedeno laboratorní měření a následně kalibrace, a to jak HJ modelu, tak i MC modelu, viz odst. 2 a výsledky prezentované v [5]. Bylo tak možné predikci odezvy získanou použitím obou modelů porovnat. V toto článku jsou použity jak parametry pro základní HJ model, tak model se zahrnující intergranulární deformaci (HJ-ID). Tabulky 1, 2 a 3 shrnují všechny použité parametry pro HJ a MC modely, a to jak pro zeminy, tak i tryskovou injektáž. V tab. 1 jsou rovněž uvedeny mocnosti jednotlivých vrstev v profilu.

Podle provedených průzkumů byla v místě stavby přítomna podzemní voda v hloubce zhruba 6 m. Vzhledem k výsledkům laboratorních zkoušek provedených na vzorcích z vrstvy sedimentů a rychlosti výstavby je možné vrstvu sedimentů považovat za vrstvu, kde k vyrovnávání pórových tlaků bude docházet pomalu. Proto se provedly dva typy výpočtů. První

4.4 Material models

As obvious from Fig. 4, the ground profile was divided into three layers. Since no laboratory tests were conducted directly for these layers, their behaviour in the analysis was controlled by the MC material model with parameters defined on the basis of the classification according to today already invalid standard ČSN 73 1001. Laboratory measurements and subsequent calibration were conducted for the layer of sediments, both for the HJ model and the MC model – let us remember paragraph 2 and results presented in [5]. It was therefore possible to compare the prediction of the response obtained by using both models. Parameters for the basic HJ model and the model incorporating the intergranular deformation (HJ-ID) are used in this paper. Tables 1, 2 and 3 summarise all parameters used for the HJ and MC models, both for soils and for jet grouting. Table 1 in addition presents the values of thickness of individual layers contained in the profile.

According to the completed surveys, ground water was encountered in the construction location at the depth of about 6m. With respect to the results of laboratory tests conducted on specimens taken from the layer of sediments and to the construction speed, it is possible to consider the layer of sediments to be a layer where the equalisation of pore pressures will proceed very slowly. For that reason, two analysis types were carried out. The first one was carried out with drained soils in all of the three layers, the second one was carried out with undrained soils in the layers of sediments and shale. Man-made ground remained to be drained. It means that two boundary situations were simulated. Pore pressures will immediately equalise in drained soils and water contained in the soil will not take any load. To the contrary, in the case of undrained soils, pore pressures will not be quickly able to redistribute and water inside pores will participate in the transfer of loads. In reality, the process of the slow redistribution of pore pressures will take place during the consolidation and the actual state will approximate one of the states, depending on the consolidation rate. Identical values of the MC model parameters were assumed for all calculations for both of the above-mentioned states, for made-ground and shale. In the case of sediments, we assumed three variants differing in the material model applied (MC, HJ and HJ-ID). The total of six numerical analyses were therefore conducted.

The FEM simulation of the tunnel excavation was divided into 10 phases in total, with phase No. 10 used for the comparison of the results of the analyses and the convergence measurements. Let us note that the method of reinforcing the excavation advance core by means of fibreglass anchors was applied to the excavation. Nevertheless, this fact was not taken into consideration in the numerical model because of the fact that the methods of the homogenisation of the anchored massif are not applicable to an HJ model as it is in the case of an MC model due to different material parameters of the model. Three values of the thickness of the primary lining of the tunnel were used. The thickness of 0.4m was applied to the whole circumference of the excavated opening; the dividing wall between the top heading parts was 0.3m thick; the bottom of both top heading parts was 0.25m thick. Concrete grade C30/37 was assumed for the lining [1].

Tab. 1 Hodnoty materiálových parametrů pro model MC
Table 1 Values of material parameters for the MC model

Vrstva Layer	E [MPa] E [MPa]	ν [-] ν [-]	ϕ_{ef} [°] ϕ_{ef} [°]	C_{ef} [kPa] C_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³] γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³] γ_{sat} [kN/m ³]	Mocnost [m] Thickness [m]
Navážka Made ground	12 12	0,28 0.28	35,5 35.5	2 2	20 20	21 21	2,8 2.8
Sedimenty Sediments	20 20	0,37 0.37	30 30	20 20	20 20	22 22	17,7 17.7
Břidlice Shale	40 40	0,30 0.30	23 23	25 25	23 23	24 24	50 50
Injektáž Grouting	143,6 143.6	0,25 0.25	14,7 14.7	1700 1,700	21 21	22 22	- -

Tab. 2 Hodnoty materiálových parametrů pro model HJ
Table 2 Values of material parameters for the HJ model

Vrstva Layer	λ^* [-] λ^* [-]	κ^* [-] κ^* [-]	N [-] N [-]	ϕ_{cs} [°] ϕ_{cs} [°]	r [-] r [-]	γ [kN/m ³] γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³] γ_{sat} [kN/m ³]	Mocnost [m] Thickness [m]
Sedimenty Sediments	0,051 0.051	0,0078 0.0078	0,677 0.677	28,42 28.42	0,2 0.2	20 20	22 22	17,7 17.7

Tab. 3 Hodnoty materiálových parametrů pro model HJ-ID
Table 3 Values of material parameters for the HJ-ID model

Vrstva Layer	R [-] R [-]	mR [-] mR [-]	mT [-] mT [-]	Br [-] Br [-]	χ [-] χ [-]
Sedimenty Sediments	0,0001 0.0001	9,3 9.3	9,3 9.3	0,2 0.2	1 1

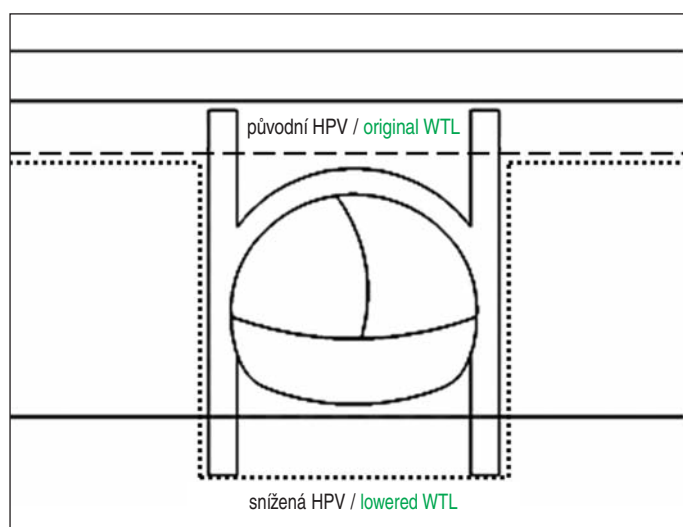
se provedl s odvodněnými zeminami ve všech třech vrstvách, druhý byl proveden s neodvodněnými zeminami ve vrstvách sedimentů a břidlice. Navážky byly ponechány odvodněné. Simulovaly se tedy dvě okrajové situace, v odvodněných zeminách dojde k okamžitému vyrovnání pórových tlaků, a voda uvnitř zeminy nepřebírá žádné zatížení. U neodvodněných zemin naopak dojde k tomu, že se pórové tlaky nestihnou přerozdělit a voda uvnitř pórů se bude podílet na přenášení zatížení. Ve skutečnosti během konsolidace bude docházet k pozvolnému přerozdělování pórových tlaků a skutečný stav se bude podle rychlosti konsolidace blížit jednomu z obou stavů. Pro oba z výše uvedených stavů byly pro navážky a břidlice uvažovány stejné hodnoty parametrů MC modelu pro všechny výpočty. V případě sedimentů byly uvažovány tři varianty lišící se použitým materiálovým modelem (MC, HJ, HJ-ID). Celkem tedy bylo provedeno šest numerických výpočtů.

Simulace ražby tunelu v MKP byla rozdělena celkem do 10 fází, přičemž pro porovnání výsledků výpočtu a konvergenčních měření byla použita 10. fáze. Je nutno poznamenat, že při ražbě samotné byla použita metoda ztužení jádra tunelu před čelbou pomocí laminátových kotev. V numerickém modelu však nebyla tato skutečnost zohledněna, neboť pro HJ model nejsou kvůli jeho odlišným materiálovým parametrům možné metody homogenizace kotveného masivu, jako je tomu v případě MC modelu. Primární ostění tunelu bylo provedeno v různých tloušťkách. Tloušťky 0,4 m nabývalo po obvodu celého výrubu, tloušťka dělicí stěny mezi kalotami byla 0,3 m a dno obou kalot mělo tloušťku 0,25 m. Pro ostění byl uvažován beton třídy C30/37 [1].

4.5 Construction process

In the Geo5 FEM software, the process is divided into the so-called phases; the following 10 phases were created in total in this particular case:

- Phase 1 – calculation of original geostatic stress in the ground massif. In this phase the MC model is assigned to all layers.
- Phase 2 – in the case of the calculation using the HJ model, the MC model used for the calculation of primary stress in phase 1 is replaced with this model in the layer of sediments. This procedure is chosen because of the fact that the hypoplastic model is not defined for zero stresses and it is therefore necessary to assign certain initial stress to it.
- Phase 3 – execution of jet grouting and the micropile umbrella. The circumference of these structures is formed by means of free points and lines; the MC model named “Grouting” is assigned to the area delimited in this way. Groundwater table is lowered under the tunnel bottom (see Fig. 5).
- Phase 4 – execution of the left-hand top heading excavation round and deactivation of excavation forces in this area to 55%.
- Phase 5 – incorporation of tunnel lining around the excavation circumference. It is 0.25m thick at the top heading bottom; the central wall separating the partial top headings is 0.35m thick and the excavation peripheral wall is 0.3m thick. The excavation forces are deactivated to 0%.
- Phase 6 – execution of the right-hand top heading excavation round and deactivation of excavation forces in this area to 55%.



Obr. 5 Snížení HPV ve 3. fázi
Fig. 5 Water table lowering in phase 3

4.5 Průběh výstavby

V programu Geo5 MKP se průběh rozděluje do tzv. fází, těchto fází bylo vytvořeno celkem 10:

1. fáze – výpočet původní geostatické napjatosti v zemním masivu. V této fázi je všem vrstvám přiřazen MC model.
2. fáze – v případě výpočtu s HJ modelem je tímto modelem ve vrstvě sedimentů nahrazen MC model použitý při výpočtu primární napjatosti v 1. fázi. Tento postup je zvolen z důvodu, že hypoplastický model není definován pro nulová napětí a je tudíž nutné mu přiřadit jisté počáteční napětí.
3. fáze – provedení tryskové injektáže a mikropilotového deštníku. Obvod těchto konstrukcí je vytvořen pomocí volných bodů a linií a ohraničené oblasti je přiřazen materiálový model MC s názvem injektáž. Podzemní voda je stažena pod úroveň tunelu, jak ukazuje obr. 5.
4. fáze – záběr levé horní kaloty a deaktivace exkavačních sil v této oblasti na 55 %.
5. fáze – vložení tunelového ostění po obvodu výrubu. Jeho tloušťka je 0,25 m na spodní straně kaloty, tloušťka střední zdi oddělující kaloty je 0,3 m a tloušťka obvodové stěny výrubu 0,3 m. Exkavační síly jsou deaktivovány na 0 %.
6. fáze – záběr pravé horní kaloty a deaktivace exkavačních sil v této oblasti na 55 %.
7. fáze – vložení ostění při dně kaloty tloušťky 0,25 m a na obvodu výrubu 0,4 m, současně dochází k deaktivaci vnitřních sil kaloty na 0 %.

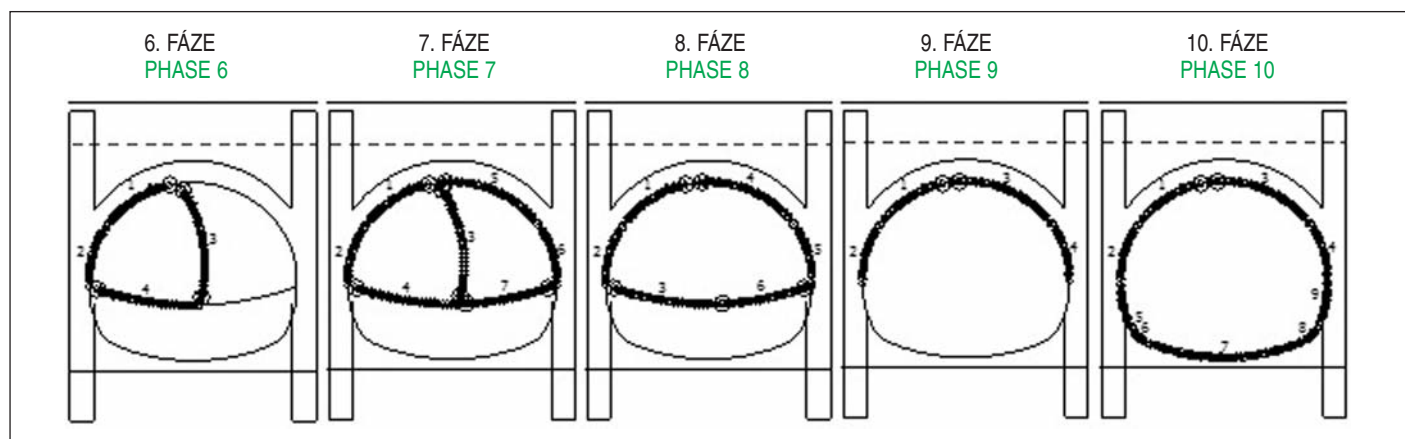
- Phase 7 – incorporation of the 0.25m thick bottom lining and 0.4m thick peripheral lining; the inner forces of the top heading are at the same time deactivated to 0%.
- Phase 8 – removal of the wall separating the top heading parts.
- Phase 9 – removal of the top heading bottom lining and deactivation of excavation forces in the area of invert to 70%.
- Phase 10 – deactivation of excavation forces of invert to 0%.

Regarding the above-mentioned excavation process, it is necessary to point out that the process of curing the concrete and reinforcing the advance core during the excavation was not taken into account. It is therefore possible to assume that the calculated deformations will reach higher values in comparison with actually measured values.

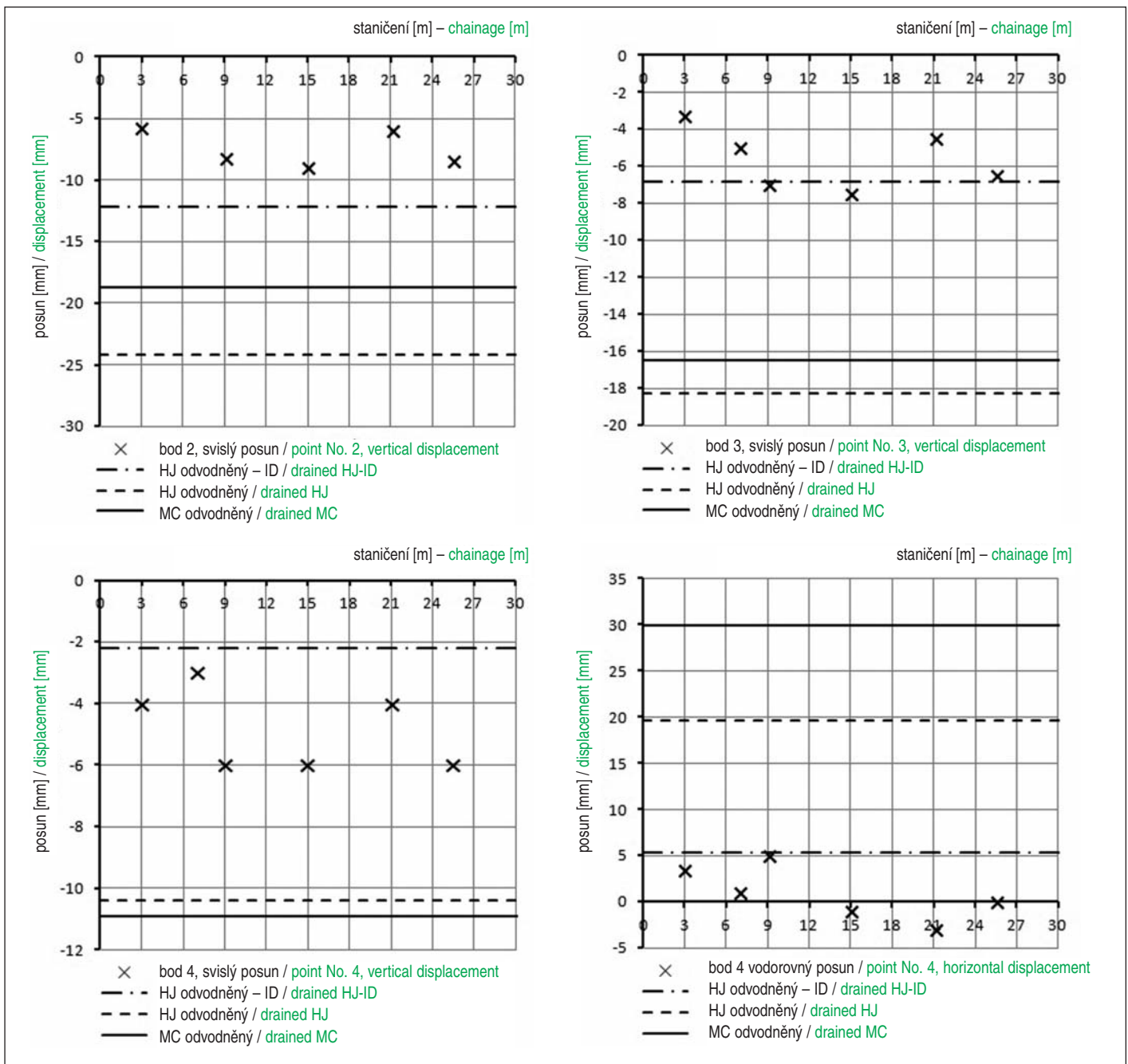
5 CALCULATION RESULTS

The Geo5 FEM software [2] allows for recording any quantity calculated at the particular point by means of displays so that it is possible to get to in-situ measurements as close as possible. In this paper, the displays were used for comparing the values of the numerically calculated horizontal and vertical displacements with the convergence measurements. The values for horizontal and vertical displacements were plotted in graphs where the vertical axis describes the magnitude of displacements in millimetres and the horizontal axis describes the chainages in metres at which the particular measurements were carried out. Vertical displacements of points 2 through to 4, which were measured at the moment when the tunnel bottom excavation was already beyond this chainage at a distance greater than the total width of the tunnel, were used for the comparison of displacements. Horizontal displacement values were in addition plotted for point 4; the values of this point displacement changed the orientation along the tunnel length and, with respect to the location of the point on the lining sidewall, the values are significant. Because the calculation was carried out only for one cross-section under the condition of plain strain, the values of displacements calculated for each problem are represented by a horizontal line passing through all chainages with an identical displacement value. Let us remember that the Geo5 FEM-Tunnel software allows only for the determination of the resultant, settled values of settlement, not their time history.

The graphs carried out for the values of displacements of points 2 through to 4 are divided into two groups according



Obr. 6 Ostění po výrubu včetně znázornění uvažovaných kloubových napojení v 6. až 10. fázi
Fig. 6 Tunnel lining after excavation, including depiction of assumed hinges in phases 6 to 10



Obr. 7 Konečné deformace za předpokladu odvodněných zemín – svislé posuny bodů 2, 3 a 4 a vodorovný posun bodu 4

Fig. 7 Final deformations under the assumption of drained soils – vertical displacements of points 2, 3 and 4 and horizontal displacement of point 4

8. fáze – odstranění dělicí stěny mezi kalotami.
9. fáze – odstranění ostění dna koruny a deaktivace exkavačních sil v oblasti invertu na 70 %.
10. fáze – deaktivace exkavačních sil invertu na 0 %.

K výše popsanému postupu ražby je nutné podotknout, že nebylo zohledněno zranění betonu a ztužení jádra tunelu během ražby. Lze tedy předpokládat, že vypočtené deformace budou dosahovat vyšších hodnot v porovnání se skutečně změřenými.

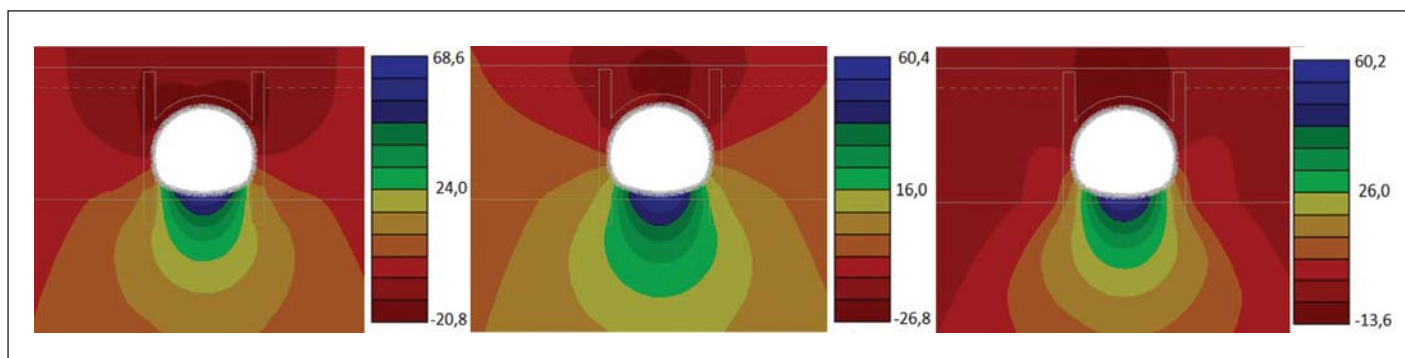
5 VÝSLEDKY VÝPOČTU

Aby bylo možné se co nejvíce přiblížit in-situ měření, umožňuje program Geo5 MKP [2] zaznamenávat libovolné vypočtené veličiny v daném bodě pomocí monitorů. V tomto příspěvku byly monitory využity k porovnání velikostí vodorovných a svislých posunů mezi numerickým výpočtem a provedenými konvergenčními měřeními. Hodnoty pro vodorovné a svislé posuny byly vyneseny do grafů, kde svislá osa

to the system in which the calculations were carried out, i.e. for drained or undrained soils. The measured deformations are marked in the graphs by separate points; a continuous line is used for deformation predictions when the MC model is used; a dashed line is for predictions when the HJ model is used and a dash-and-dot line is for predictions based on the HJ-ID model.

5.1 Drained soil filling the whole cross-section

The difference between the MC and HJ models and the HJ-ID model is obvious already at the first glance of the graphs in Fig. 7, which correspond to the use of drained soils filling the whole cross-section. In this case, the MC and HJ models locally predict over three times higher deformations in comparison with the HJ-ID model. Let us remember that a part of the calculation error in comparison with the measurement is attributable to the disregarded influence of anchoring the advance core. The MC model gets closer to the measured values at points 2 and 3 (i.e. points of the upper part of the



Obr. 8 Zobrazení posunů ve svislém směru pro modely MC, HJ a HJ-ID – odvodněné zeminy
Fig. 8 Depiction of vertical displacements for the MC, HJ and HJ-ID models – drained soils

popisuje velikost posunů v milimetrech a vodorovná osa staničení v metrech, ve kterých byla daná měření provedena. Pro porovnání posunů byly použity svislé posuny bodů 2 až 4 z okamžiku, kdy byla ražba dna tunelu již ve vzdálenosti větší než celková šířka tunelu za tímto staničením. Pro bod 4 byly rovněž vyneseny i vodorovné posuny, hodnoty jeho posunů po délce tunelu měnily orientaci a vzhledem k jeho poloze na boku ostění jsou jeho hodnoty podstatné. Jelikož je výpočet proveden pouze pro jeden řez za podmínek rovinné deformace, jsou vypočtené hodnoty posunů z každé úlohy znázorněné vodorovnou přímkou procházející všemi staničeními se stejnou hodnotou posunu. Je nutno zmínit, že program Geo5 MKP-Tunel umožňuje stanovit pouze výsledné, ustálené hodnoty sednutí a nikoliv jejich časový průběh.

Vytvořené grafy pro hodnoty posunů bodů 2 až 4 jsou rozděleny do dvou skupin, podle toho zda jsou výpočty provedeny pro odvodněné, anebo neodvodněné zeminy. Na grafech jsou samostatnými body vyznačeny měřené deformace, plnou čarou predikce deformace za použití MC modelu, čárkovanou čarou predikce za použití HJ modelu a čerchovanou čarou predikce na základě modelu HJ-ID.

5.1 Odvodněné zeminy v celém profilu

Již při prvním pohledu na grafy na obr. 7 odpovídající použití odvodněných zemin v celém profilu je patrný rozdíl mezi modely MC a HJ a modelem HJ-ID. Modely MC a HJ zde predikují místy více než trojnásobné deformace v porovnání s modelem HJ-ID. Část chyby výpočtu v porovnání s měřením jde na vrub zanedbání vlivu kotvení jádra tunelu. Model MC se u bodů 2 a 3, což jsou body horní části ostění, blíží více naměřeným hodnotám nežli model HJ, nicméně tyto rozdíly nejsou významné. Z tohoto pohledu se model HJ-ID může jevit jako příliš tuhý, viz např. bod 4 na obr. 7, ačkoliv vypočtené hodnoty sednutí jsou ve velmi dobré shodě s hodnotami měření. Je tedy na zvážení posoudit účinek ztuhnutí jádra na případný pokles deformací při již tak zabezpečeném obvodu výrubu tryskovou injektáží. Grafům na obr. 7

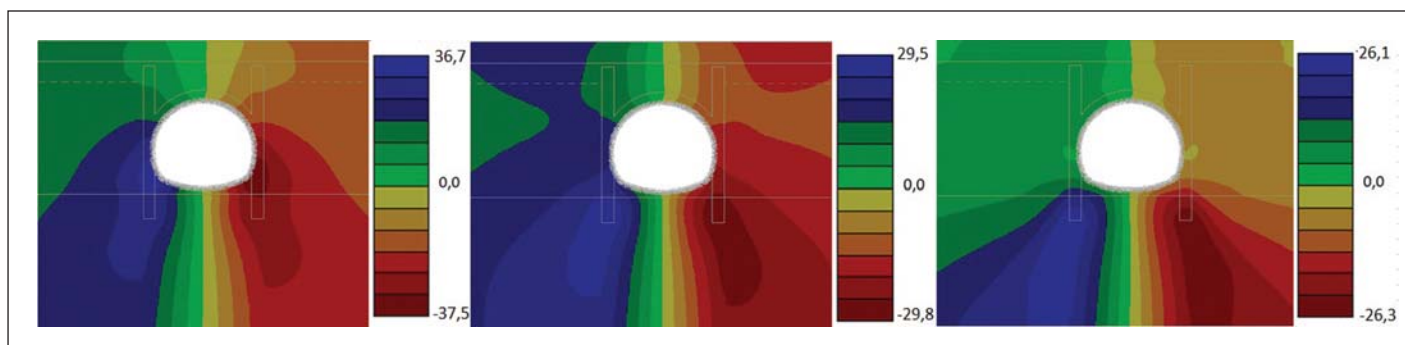
lining) than the HJ-ID model. Nevertheless, these differences are not significant. From this point of view, the HJ-ID model may appear to be too stiff, see for example point 4 in Fig. 7, even though the calculated settlement values are in very good agreement with the measured values. It is therefore up to consideration whether reinforcing of the advance core is to be assessed for a contingent decrease in deformations at the excavation opening circumference already stabilised by jet grouting. The distribution of vertical and horizontal deformations in the tunnel excavation surroundings (see Figures 8 and 9) corresponds to graphs in Fig. 7.

5.2 Undrained soils in the layers of sediments and shale

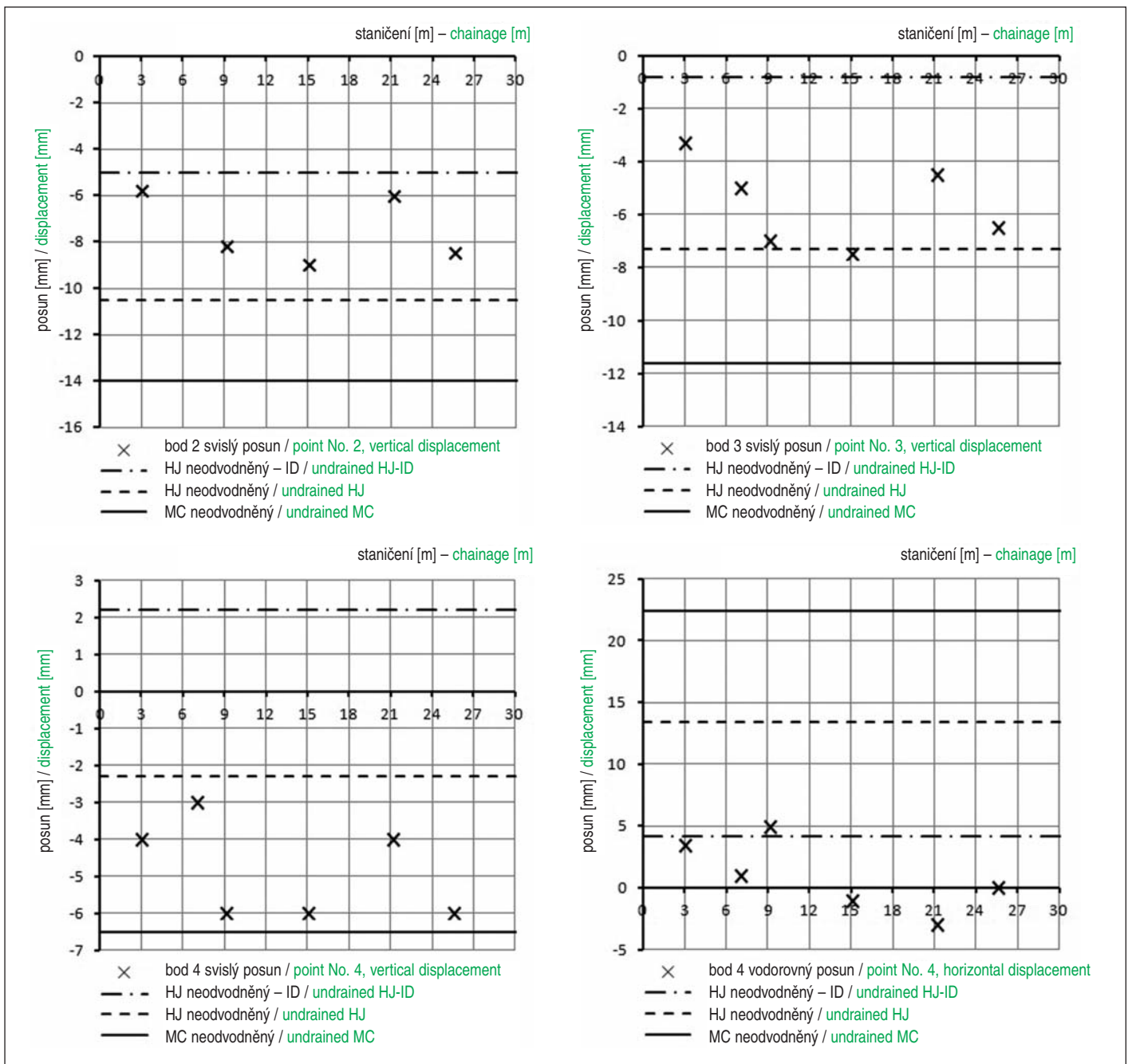
Another set of graphs depicts the results of the calculation and measurements when undrained soils are used in the layers of sediments and shale. In the case of undrained soils, the equalisation of pore pressures, therefore also flowing of groundwater through the ground massif, are prevented. Water contained in the soil participates most of all in the transfer of stresses. This fact will substantially restrict the development of volumetric deformations of the porous soil skeleton; in other words, it will contribute to a significant increase in the volumetric stiffness of the soil. On the other hand, it will also contribute to reducing the effective stresses due to the increase in pore pressures. The increased stiffness will in this case manifest itself by a decrease in the calculated deformation, which is obvious for all of the models used. Anyway, if we assume that the prediction will be improved by the application of the HJ-ID model, it will be possible on the basis of the comparison of the results presented in Figures 7 and 10 to prefer the assumption of drained conditions, as it was in the case of the original study [1]. For illustration, we again present in Figures 11 and 12 the distribution of vertical and horizontal displacements predicted by individual models.

5.3 Development of deformations with respect to the model used

It is obvious from the presented results that the choice of the material model for the layer of sediments has no



Obr. 9 Zobrazení posunů ve vodorovném směru pro modely MC, HJ a HJ-ID – odvodněné zeminy
Fig. 9 Depiction of horizontal displacements for the MC, HJ and HJ-ID models – drained soils



Obr. 10 Konečné deformace za předpokladu neodvodněných zemín
Fig. 10 Final deformations under the assumption of undrained soils

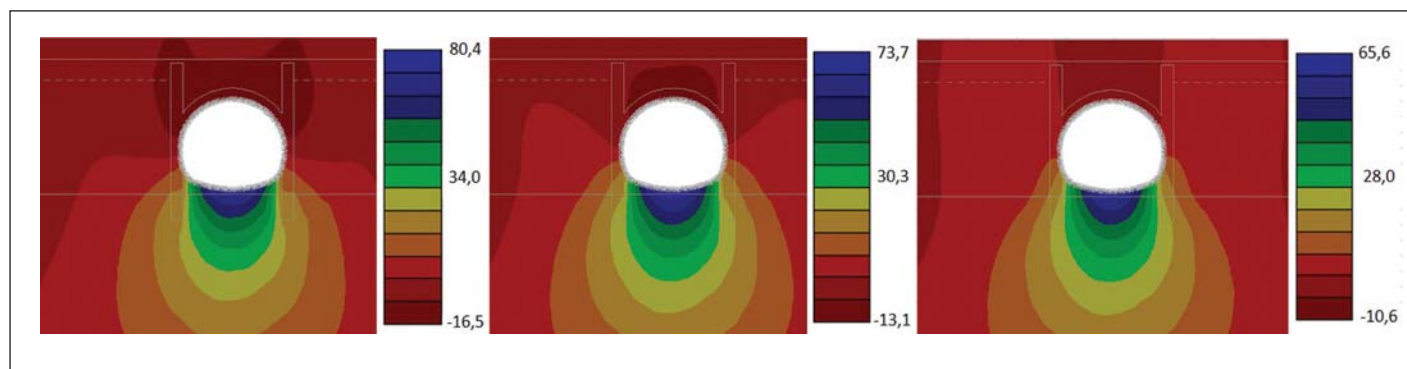
odpovídá rozložení svislých a vodorovných deformací v okolí výrubu tunelu na obr. 8 a 9.

5.2 Neodvodněné zeminy ve vrstvách sedimentů a břidlice

Další sada grafů zobrazuje výsledky výpočtu a měření při použití neodvodněných zemín ve vrstvách sedimentů a břidlice. Při neodvodněných podmínkách je zabráněno vyrovnávání pórových tlaků, a tedy proudění vody v zemním masivu. Na přenášení napětí se podílí zejména voda obsažená v zemině. To výrazně omezí vývoj objemových deformací porézního skeletu zeminy, jinými slovy přispěje k významnému zvýšení objemové tuhosti zeminy, na druhé straně však ke snížení efektivních napětí v důsledku nárůstu pórových tlaků. Zvýšení tuhosti se v tomto případě projeví poklesem vypočtené deformace, což je patrné pro všechny použité modely. Bude-li se však předpokládat zlepšení predikce posunů užitím modelu HJ-ID, lze z porovnání výsledků na obr. 7 a 10

fundamental influence on the prediction of resultant displacements. It is so first of all because of the fact that the degree of stiffening by the effect of jet grouting in the excavation surroundings is high. The significant stiffening principally affects both the vertical and horizontal displacements. Anyway, the assessment of both models from the aspect of the development of deformations during the simulation of the sequential excavation, see paragraph 4.5, depending on changes in the direction of loading that occur during the construction is worth mentioning. Taking into consideration the comment in paragraph 5.2, we will restrict ourselves in the next text only to the behaviour of individual models under the assumption of drained soils.

As obvious from Fig. 13a, it is in the case of horizontal displacements of point 4 (u_4) possible to observe a different response, mainly for the first phase of building (phases 2-5). In phase 3, displacement u_4 in the beginning steeply grows. This fact can be attributed to a change in the water table level



Obr. 11 Zobrazení posunů ve svislém směru – neodvodněné zeminy pro modely MC, HJ a HJ-ID

Fig. 11 Depiction of vertical displacements – undrained soils for the MC, HJ and HJ-ID models

upřednostnit předpoklad odvodněných podmínek, jak tomu bylo i v případě původní studie [1]. Pro ilustraci je opět uvedeno na obr. 11 a 12 rozložení svislých a vodorovných posunů predikovaných jednotlivými modely.

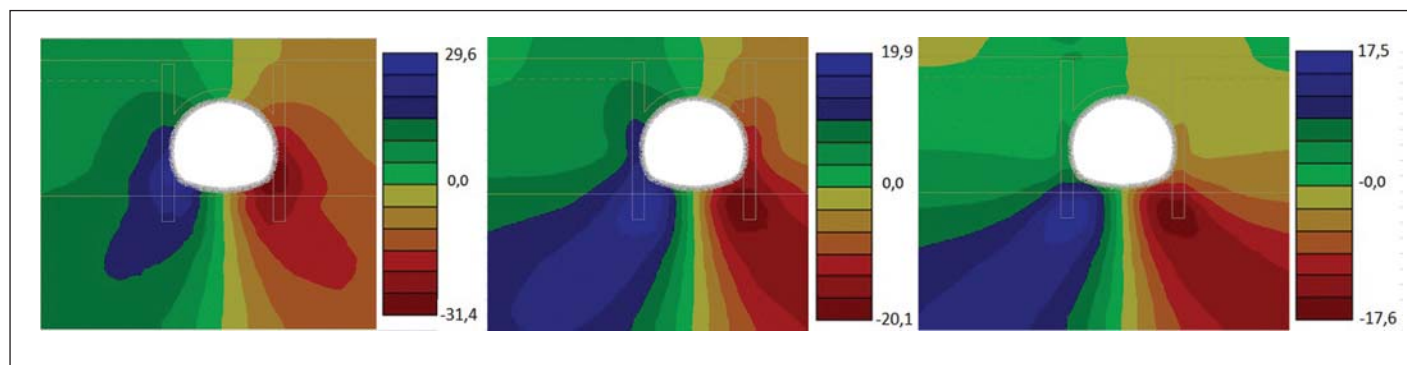
5.3 Vývoj deformací vzhledem k použitému modelu

Z předložených výsledků je zřejmé, že volba materiálového modelu ve vrstvě sedimentů nemá na predikci výsledných posunů v tomto případě zásadní vliv. Důvodem je zejména vysoký stupeň vyztužení účinkem tryskové injektáže v okolí výrubu, tedy značné ztužení principiálně ovlivňující jak svislé, tak i vodorovné posuny. Za zmínku však stojí posouzení obou modelů z pohledu vývoje deformací během simulace postupné ražby, viz odst. 4.5, v závislosti na změnách směru zatížení, ke kterým během výstavby dochází. Vzhledem ke komentáři v odst. 5.2 se v dalším textu autoři omezí pouze na chování jednotlivých modelů za předpokladu odvodněných zemín.

Jak je patrné z obr. 13a, lze v případě vodorovných posunů bodu 4 (u_4) sledovat rozdílnou odezvu zejména pro první fázi budování (fáze 2–5). Ve fázi 3 posun u_4 nejprve strmě roste, což lze přisoudit změně HPV v okolí tunelu. Následující záběr kaloty ve fázi 4 vyvolá další nárůst deformace směrem do tunelu, přitom dojde k odtížení zeminy za stěnou z tryskové injektáže. Při odtížení modul pružnosti nabývá i trojnásobné hodnoty, a to se projevuje na rozdílné velikosti vzniklých posunů mezi oběma modely. MC model má modul pružnosti konstantní, zatímco modul pružnosti HJ se vyvíjí na základě aktuálního stavu zeminy a způsobu přitížení. Ve fázi 5 za současného vložení nosníků dochází k deaktivaci exkavačních sil na hranici ostění na 0 %. Během provedení záběru pravé kaloty ve fázi 6 dochází k rozdílu v orientacích mezi deformacemi obou modelů. Tento rozdíl v odezvě je zřejmě důsledkem odlišné formulace tuhosti modelů. Zatímco MC model uvažuje konstantní elasticitou tuhost danou modulem pružnosti E (snížení tuhosti při plastickém zatěžování je zohledněno elasticko-plastickou maticí tuhosti) pro všechny

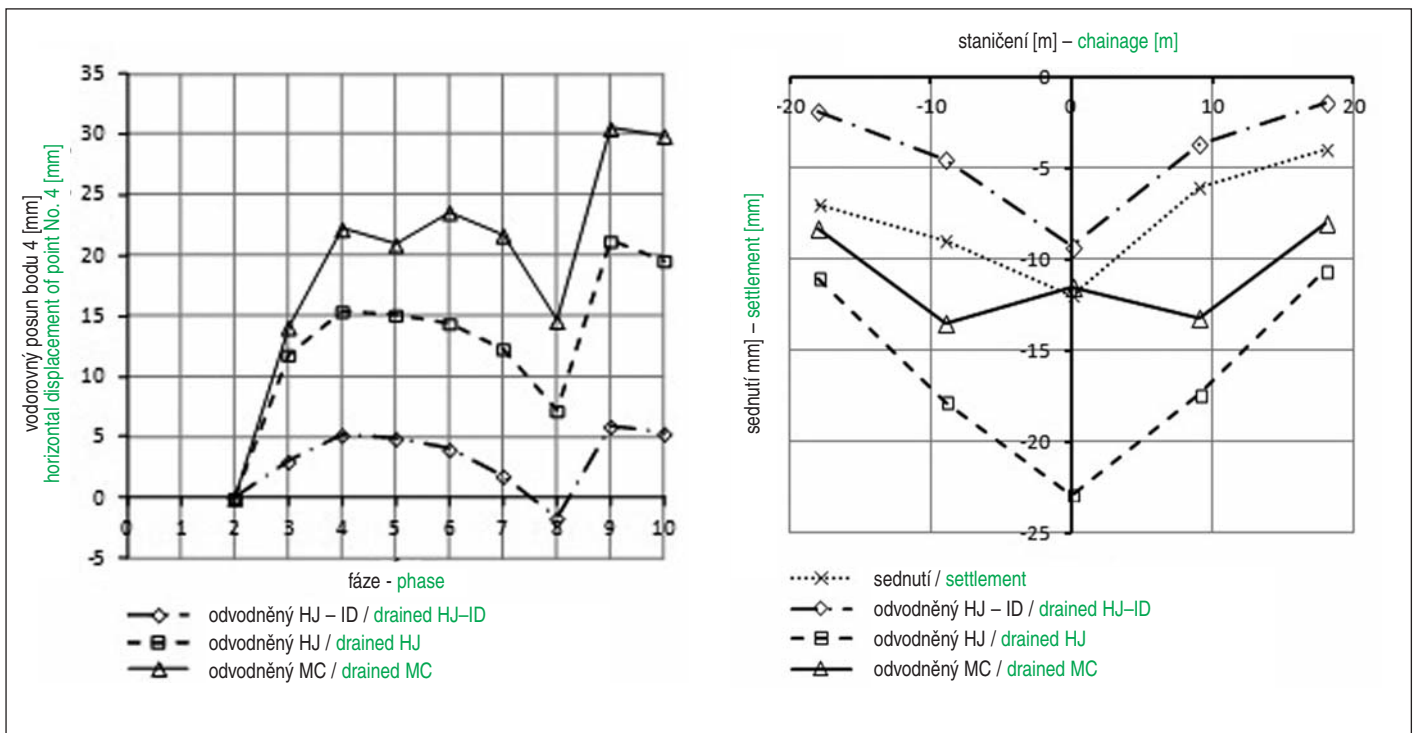
in the tunnel surroundings. The next top heading excavation round in phase 4 causes additional increase in deformation in the direction of the tunnel interior. As a result, the soil behind the jet-grouted wall is unloaded. In the case of unloading, the modulus of elasticity assumes even three times higher values. This increase manifests itself on the magnitude of originating displacements, which differs at both models. Let us remember that the modulus of elasticity is constant in the MC model, whilst the modulus of elasticity in the HJ model develops on the basis of the current state of soil and the manner of loading. In phase 5, the excavation forces at the lining border are deactivated to 0% concurrently with the insertion of beams. The orientation of deformations in both models begins to differ in phase 6 during the right-hand top heading excavation round. This difference in the response is most probably the result of the different formulation of the stiffness in the two models. Whilst the MC model assumes constant elastic stiffness given by the modulus of elasticity E (the reduction of stiffness during plastic loading is taken into account by the elasto-plastic matrix of stiffness) for directions of the surcharge loading, the stiffness in the HJ model is different in the cases of surcharging and unloading.

It is in addition obvious when the development of these displacements in both models is observed that the changes in deformations are virtually always greater in the case of the MC model and, in the phase where the layer of sediments is being removed, these differences are much more noticeable. The modulus of elasticity $E = 20 \text{ MPa}$ used in the MC model corresponds to the oedometric modulus with the value of ca $E_{\text{oed}} = 30 \text{ MPa}$. Such a modulus can be attributed to lower stress degrees of the oedometer test, therefore to the higher development of deformations. From phase 7 on, the u_4 displacement curves are very similar and their development is controlled mainly by the MC model in the layer of shale during the excavation of the remaining space of the tunnel.



Obr. 12 Zobrazení posunů ve vodorovném směru – neodvodněné zeminy pro modely MC, HJ a HJ-ID

Fig. 12 Depiction of horizontal displacements – undrained soils for the MC, HJ and HJ-ID models



Obr. 13 a) Vývoj vodorovných deformací bodu 4 v průběhu ražby, b) Poklesová kotlina na konci výstavby

Fig. 13 a) Development of horizontal deformations of point 4 during the excavation, b) Settlement trough at the construction end

směry přitížení, tuhost HJ modelu se při přitížení a odtížení liší.

Při sledování vývoje těchto posunů u obou modelů je také zřejmé, že změny deformací jsou u MC modelu prakticky vždy větší a při fázi, kde dochází k odtěžování vrstvy sedimentů, jsou tyto rozdíly mnohem znatelnější. Modul pružnosti $E = 20$ MPa, použitý u MC modelu, odpovídá edometrickému modulu o hodnotě cca $E_{oed} = 30$ MPa. Takovýto modul lze přiřadit nižším napětovým stupňům edometrické zkoušky, a tedy vyšším vývinům deformace. Od fáze 7 jsou si průběhy posunu u_4 již značně podobné a jejich vývoj je řízen zejména MC modelem ve vrstvě břidlic během ražby zbylého prostoru tunelu. V případě modelu HJ-ID je především patrný velmi malý počáteční vývoj posunů ve fázi 3 daný vyšší tuhostí materiálu při velmi malých deformacích. Následný charakter vývoje posunu u_4 je v podstatě shodný s průběhem posunu predikovaným HJ modelem, kdy koncepce intergranulární deformace se již neuplatní.

I když nejsou díky provedeným opatřením rozdíly v posunech při použití různých modelů nikterak významné, viz také porovnání výsledných svislých posunů na terénu (obr. 13b), odlišný trend vývoje posunů predikovaný hypoplastickými modely a Mohr-Coulombovým modelem je z obr. 13a zřejmý.

6 ZÁVĚR

Článek představil zjednodušený 2D MKP model tunelu raženého NRTM a porovnal výsledky získané při použití hypoplastického modelu pro jemnozrnné zeminy s výsledky Mohr-Coulombova modelu. Vzhledem k charakteru technologických opatření, které měly za úkol minimalizovat deformace způsobené ražbou, jsou predikované deformace relativně malé a rozdíly mezi modely nejsou zásadní. Podstatně větší rozdíl mezi predikcí získanou konvenčním MC modelem a HJ modelem je možné pozorovat zejména v případech, kdy dochází k větším deformacím, jak bylo demonstrováno v [4] na případě Královopolských tunelů.

Přesnější predikce deformací by vyžadovala detailnější model zohledňující zejména tuhosti materiálu tryskové injektáže,

The very small initial development of displacements in phase 3 given by the higher stiffness of the material at very small deformations is obvious most of all in the case of the HJ-ID model. The subsequent character of the development of displacement u_4 is in essence identical with the development of the displacement predicted by the HJ model, where the intergranular deformation concept no more applies.

Even though the differences in displacements when various models are used are not too significant owing to the implemented measures, see also the comparison of resultant vertical displacements on the terrain surface (see Fig. 13b), the different trends of the development of displacements predicted by hypoplastic models and the Mohr-Coulomb model are obvious from Fig. 13a.

6 CONCLUSION

The paper introduced a simplified 2D FEM model of a tunnel driven using the NATM and compared results obtained by the application of the hypoplastic model for fine-grained soils with the results of the Mohr-Coulomb model. With respect to the character of the technological measures designed to minimise deformations induced by the excavation, the predicted deformations are relatively small and differences between the models are not fundamental. Substantially greater difference between the prediction obtained by the conventional MC model and the HJ model could be observed mainly in the cases where larger deformations occur, as demonstrated in [4] on the Královopole tunnels used as an example.

A more accurate prediction of deformations would require a more detailed model, taking into account first of all the stiffness of the jet grouting material, taking the reinforced and anchored excavation advance core into consideration, and more detailed knowledge of mechanical properties of the other layers of the geological profile. Despite it, qualitative differences in the prediction of the settlement trough on the terrain surface, where the MC model predicts an unrealistic

uvážení vyztuženého prokottveného jádra výrubu a detailnější znalost mechanických vlastností ostatních vrstev geologického profilu. Přesto lze i s uvedeným zjednodušeným modelem pozorovat kvalitativní rozdíly v predikci poklesové jámy na terénu, kdy MC model předpovídá nereálnou poklesovou kotlinu ve tvaru písmene „w“ (obdobné výsledky uvádí též [4]).

Společně s článkem [5], který se detailně věnuje postupu stanovení hodnot materiálových parametrů použitých v prezentovaných výpočtech, může čtenář získat ucelenou představu o praktickém použití hypoplastického modelu od vyhodnocení laboratorních testů pomocí 2D MKP softwaru až po jeho praktické použití v MKP modelu.

Otázkou, která si zaslouží detailnější studium, je zohlednění vyšší tuhosti zeminy při velmi malých deformacích (rozšíření modelu značené HJ-ID) v kontextu řešení ražby ve 2D podmínkách metodou opěrných napětí. Při použití metody opěrných napětí je nutné pamatovat na to, že postup ražby ve dvou krocích je pouhým numerickým nástrojem, jak zohlednit míru aktivity primárního ostění. Mezilehlá fáze s částečně aplikovanými exkavačními silami při tom neodpovídá žádnému reálnému stavu konstrukce. Zohlednění tuhosti při malých deformacích se projeví pouze v prvním kroku ražby, což jistě neodpovídá realitě, pokud se uvažuje celková 3D geometrie skutečné ulohy.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl v rámci projektů TA01030245 a TA04031603 podporované Technologickou agenturou České republiky. Výsledky měření byly poskytnuty společností ARCADIS CZ a.s.

Ing. TOMÁŠ KADLÍČEK, tomas.kadlicek@fsv.cvut.cz,
Ing. TOMÁŠ JANDA, Ph.D., tomas.janda@fsv.cvut.cz,
prof. Ing. MICHAL ŠEJNOHA, Ph.D.,
sejnom@fsv.cvut.cz,
České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební,
Ing. JOSEF KUŇÁK, kunak@metroprojekt.cz,
Ing. MARTINA URBÁNKOVÁ,
urbankova@metroprojekt.cz,
METROPROJEKT Praha a.s.

Recenzovali: Ing. Jiří Pechman, Ing. Tomáš Louženský

w-shaped settlement trough (similar results are also presented in [4]), can be observed even using the above-mentioned simplified model.

Jointly with paper [5] dealing with the procedure of determining the values of material parameters used in the analyses presented above in more detail, the reader can gain overall notion of the practical application of the hypoplastic model from the assessment of laboratory tests using the 2D FEM software up to the practical application of the software in the hypoplastic model.

Taking account of the higher stiffness of soil at very small deformations (the expansion of the model marked as HJ-ID) within the context of the solution to the excavation in 2D conditions using the Convergence Confinement Method is a question that deserves a more detailed study. When the Convergence Confinement Method is used, it is necessary to remember that the excavation process consisting of two steps is a mere numerical tool how to take the primary lining activation rate into account. It is true that the intermediate phase with partially applied excavation forces does not correspond to any realistic state of the structure. Taking account of the stiffness at small deformations will manifest itself only during the first excavation step. This thing certainly does not correspond to reality if we take the overall 3D geometry of the problem into consideration.

ACKNOWLEDGEMENTS

The paper originated within the framework of the TA01030245 and TA04031603 projects supported by the Technological Agency of the Czech Republic. The measurement results were provided by ARCADIS CZ a.s.

Ing. TOMÁŠ KADLÍČEK, tomas.kadlicek@fsv.cvut.cz,
Ing. TOMÁŠ JANDA, Ph.D., tomas.janda@fsv.cvut.cz,
prof. Ing. MICHAL ŠEJNOHA, Ph.D.,
sejnom@fsv.cvut.cz,
České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební,
Ing. JOSEF KUŇÁK, kunak@metroprojekt.cz,
Ing. MARTINA URBÁNKOVÁ,
urbankova@metroprojekt.cz,
METROPROJEKT Praha a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] *Prodloužení trasy A metra v Praze ze stanice Dejvická*. SO 02-29, VZT tunel do TT. METROPROJEKT Praha a. s., 2009–2012
- [2] Fine s. r. o. (2015) GEO 5 MKP, GEO 5 Tunnel, <http://www.fine.cz>
- [3] Mašín, D. A hypoplastic constitutive model for clays. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. Vol. 29, 2005, No. 4, p. 311–336
- [4] Svoboda, T., Mašín, D., Boháč, J. Hypoplastický a Mohr-Coulombův model při simulaci tunelu v jílech. *Tunel*, 2009, roč. 4, s. 59–68
- [5] Janda, T., Šejnoha, M. Stanovení parametrů pokročilých materiálových modelů pro jemnozrnné zeminy pomocí MKP softwaru. *Geotechnika*, 2013, roč. 2, s. 3–13
- [6] Janda, T., Šejnoha, M., Šejnoha, J. Two-Dimensional Modeling of Tunnel Excavations Enhanced by Convergence Measurements. *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*. B. H. V. Topping and Y. Tsompanakis, (Editors), Civil-Comp Press, Stirlingshire, Scotland, paper, 2011, No. 222
- [7] Janda, T., Šejnoha, M., Šejnoha, J. Modeling of soil structure interaction during tunnel excavation: An engineering approach. *Advances in Engineering Software*, 2013, Vol. 62–63, p. 51–60
- [8] Šejnoha M. *Finite element analysis in geotechnical design*. Saxe-Coburg Publications, Kippen, Stirling, Scotland, 2015, pages 400, in print
- [9] Šejnoha, M., Janda, T., Pruška, J., Brouček, M. *Metoda konečných prvků v geomechanice: Teoretické základy a Inženýrské aplikace*. České vysoké učení technické v Praze, 2015, s. 300, v tisku
- [10] Černá Vydrová, L. *Comparative static analysis of tunneling methods NATM and ADECO-RS*. Doctoral thesis, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2014

FOTOREPORTÁŽ Z TUNELU POVAŽSKÝ CHLMEC (FOTO: ING. LIBOR MAŘÍK)

PICTURE REPORT FROM POVAŽSKÝ CHLMEC TUNNEL

(PHOTO: ING. LIBOR MAŘÍK)



Obr. 1 Západní portál, konstrukce želvy na jižní a severní tunelové troubě

Fig. 1 Western portal, the structure of the cover-and-cut vaults at the southern and northern tunnel tubes



Obr. 2 Západní portál, severní tunel po vyražení kaloty a jádra

Fig. 2 Western portal, the northern tunnel tube after the completion of the top heading and bench excavation



Obr. 3 Západní portál, zajištění klenbou želvy a velkopřůměrovými pilotami

Fig. 3 Western portal, support provided by the cover-and-cut vault and large-profile piles



Obr. 4 Střední jáma, severní tunel, pohled na konstrukci želvy (vzdálenost portálů 12,5 m)

Fig. 4 Central pit, northern tunnel tube, a view of the cover-and-cut vault (distance between portals of 12.5m)



Obr. 5 Střední jáma, jižní tunel, pohled na východ po vyražení kaloty

Fig. 5 Central pit, southern tunnel tube, an eastern view after the completion of top heading excavation

FOTOREPORTÁŽ ZE SLAVNOSTNÍHO OTEVŘENÍ PRODLOUŽENÍ METRA V.A 6. 4. 2015

PICTURE REPORT FROM THE INAUGURATION OF THE METRO V.A EXTENSION ON 06/04/2015



Foto/Photo Ing. Jiří Junek

Obr. 1 Přípravená páska k otevření
Fig. 1 The tape prepared for the opening event



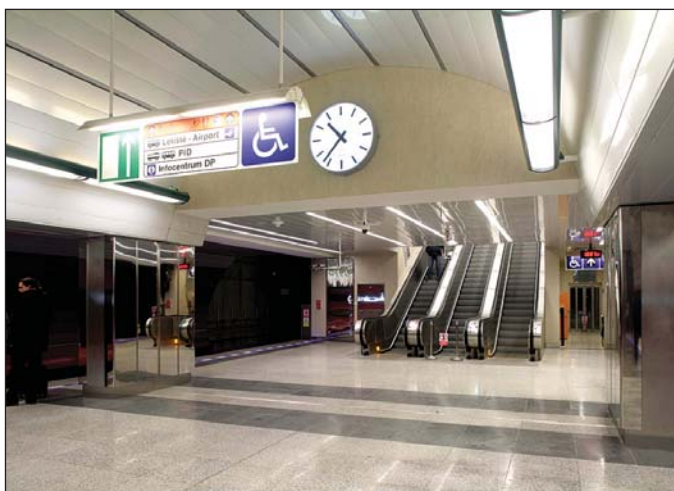
Foto/Photo Josef Husák

Obr. 2 Slavnostní projevy
Fig. 2 Ceremonial speeches



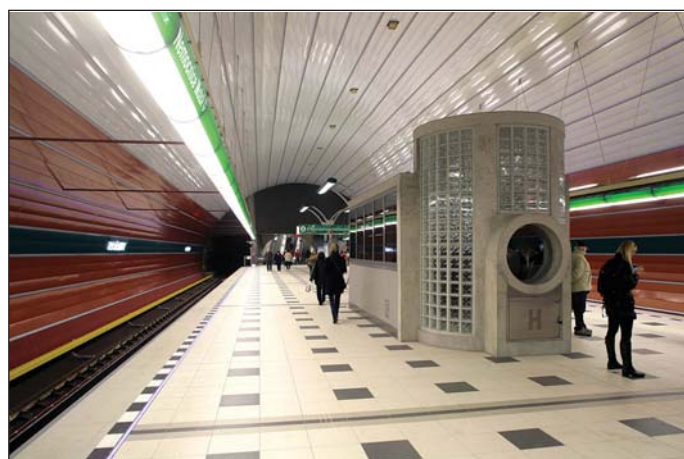
Foto/Photo Ing. Jiří Junek

Obr. 3 Slavnostní přestřižení pásky
Fig. 3 Ceremonial cutting the tape



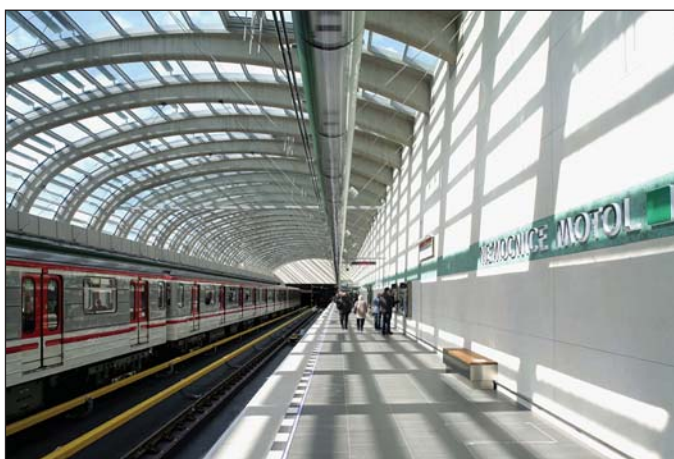
Foto/Photo Josef Husák

Obr. 4 Stanice Nádraží Veleslavín
Fig. 4 Nádraží Veleslavín station



Foto/Photo Josef Husák

Obr. 5 Stanice Petřiny
Fig. 5 Petřiny station



Foto/Photo Josef Husák

Obr. 6 Stanice Nemocnice Motol
Fig. 6 Nemocnice Motol station



SPOLEHLIVÉ PARTNERSTVÍ

Společnost Minova Bohemia s.r.o., jako součást skupiny Orica Ltd., patří mezi přední světové dodavatele kotevní techniky, injekčních materiálů a čerpací techniky.

Nabízíme ucelené portfolio technologií a produktů, které bylo prověřeno řadou úspěšných akcí nejen v České republice, ale také v zahraničí.

Naším partnerům standardně poskytujeme technické poradenství pro řešení obtížných situací při výstavbě či sanacích všech typů podzemních děl.

Keeping People Safe Underground



Minova Bohemia

www.minova.cz | www.orica.com

ANGERMEIER



Angermeier Engineers, s.r.o.
Pražská 810/16, 102 21 Praha 10
tel.: +420 281 017 408
mob.: +420 603 842 041
www.angermeier.cz, info@angermeier.cz

Nabízíme - spolehlivost, kvalitu a více než 20letou zkušenost v oboru

Naše geodetická kancelář nabízí a provádí:

vše týkající se geometrie na stavbách v podzemí i na povrchu

- inženýrská geodézie doprovázející výstavbu
- tvorba, údržba a kontrola přesných vytyčovacích sítí
- 3D skenování a jeho vyhodnocení
- výpočet vytyčovacích prvků (směrové a výškové vedení tras)

velmi přesná měření deformací všeho druhu včetně automatizovaných speciální geodetické práce dle přání stavebních firem

Zkušenosti z malých i velkých staveb doma i v zahraničí:

tunely Mrázovka, Dobrovského, Lahovice, Blanka, Sudoměřice
Chenani Nashri Tunnel - Indie
tunely Svrčinovec, Povážský Chlmec - SK
metro V.A a metro IV C1, Praha
Nové železniční spojení, MÚK Malovanka, Praha
kolektory a ražby malých profilů
bezbariérové přístupy do metra
tramvajové trati Barrandov a Radlická, Praha
koridorové stavby

Jsme držitelé certifikátů podle ČSN EN ISO 9001:2009 a 14001:2005



SŽDC V DATECH

1. ledna 2003	Vznik Správy železniční dopravní cesty
od 1. ledna 2004	Investorsko-inženýrská činnost pro železniční projekty (přechod stavebních správ ČD pod SŽDC)
od 1. května 2004	Přidělování kapacity dopravní cesty
od 1. července 2008	Provozování dráhy (mj. sestavování a vydávání jízdních řádů)
od 1. září 2011	Obsluha dráhy a řízení železničního provozu (SŽDC se stává plnohodnotným manažerem železniční infrastruktury v ČR)

SŽDC ZAJIŠŤUJE

- provozování železniční dopravní cesty,
- provozuschopnost železniční dopravní cesty,
- rozvoj a modernizaci železniční dopravní cesty,
- údržbu a opravy železniční dopravní cesty,
- přípravu podkladů pro sjednávání závazků veřejné služby,
- kontrolu užívání železniční dopravní cesty, provozu a provozuschopnosti dráhy.

ŽELEZNIČNÍ SÍŤ SŽDC

Délka tratí celkem	9 469 km
Délka elektrizovaných tratí	3 217 km
Délka tratí normálního rozchodu	9 446 km
Délka úzkorozchodných tratí	23 km
Délka jednokolejných tratí	7 541 km
Počet výhybkových jednotek	23 756
Počet mostů	6 798
Počet tunelů	164
Celková délka mostů	153 687 m
Celková délka tunelů	45 732 m
Počet železničních přejezdů	8 001



Správa železniční dopravní cesty, státní organizace
Dlážděná 1003/7
110 00 Praha 1
tel.: +420 222 335 911
<http://www.szdc.cz>
e-mail: info@szdc.cz



Operační program
Doprava



Evropská unie
Investice do vaší budoucnosti
Fond soudržnosti



Ministerstvo dopravy



Modernizace trati Rokycany – Plzeň

Stavba je součástí modernizace vnitrostátního III. tranzitního železničního koridoru – západní část. Účelem modernizace je především dosažení vyšších technických parametrů koridorové trati, včetně zkrácení jízdní doby vlaků, zvýšení bezpečnosti železničního provozu a zvýšení komfortu pro cestující.

Navrženým směrovým a výškovým vedením trasy a z toho vyplývajících stavebních úpravami se podaří dosáhnout v celém úseku stavby traťové rychlosti 120 km/h pro klasické vozové jednotky a rychlosti 160 km/h pro jednotky s naklápěcími skříněmi.



Doba výstavby 2013 – 2017



Stěžejní záležitostí stavby je výstavba tunelu Ejovice - dvou jednokolejných tunelů délky 4 150 m pod terénními útvary Homolka a Chlum. Ražba tunelů, zahájena 31. ledna 2015, je prováděna technologií TBM. Tunelový razicí stroj vyrobený ve firmě Herrenknecht pod výrobním označením TBM S-799 a dne 23.1.2015 slavnostně pokřtěný na „Viktorie“ má průměr řezné hlavy 9,84 metrů, je dlouhý přes 114 metrů, váží přibližně 1800 tun a má elektrický příkon 6 MW.

Modernizace se dotýká všech železničních zařízení. Kromě modernizace železničního svršku budou v rámci stavby rovněž postaveny nové, nebo rekonstruovány stávající mosty a propustky. Pro zajištění plynulosti a zvýšení bezpečnosti železničního provozu bude zřízeno nové staniční a traťové zabezpečovací zařízení s navázáním na sousední stanice.

Objednatel:

Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, zastoupená Stavební správou západ

Zhotovitel:

Sdružení MTS + SBT – MTÚ Rokycany – Plzeň (Metrostav a.s. - Subterra a.s.)

Projektant:

ZDS - SUDOP PRAHA a.s., RDS – Metroprojekt Praha a.s.

Technický dozor investora na tunel:

Sdružení Inženýring dopravních staveb a.s. – SATRA spol. s r.o.

Zhotovitel geotechnického monitoringu:

Sdružení GEOTest, a.s. – Angermeier Engineers, s.r.o.



Stavba je spolufinancována z Fondu soudržnosti v rámci Operačního programu doprava ve výši 76,44 % ze způsobilých nákladů stavby, což činí v maximální míře 3 419 440 199 Kč. Národní spolufinancování je zajištěno z prostředků Státního fondu dopravní infrastruktury.

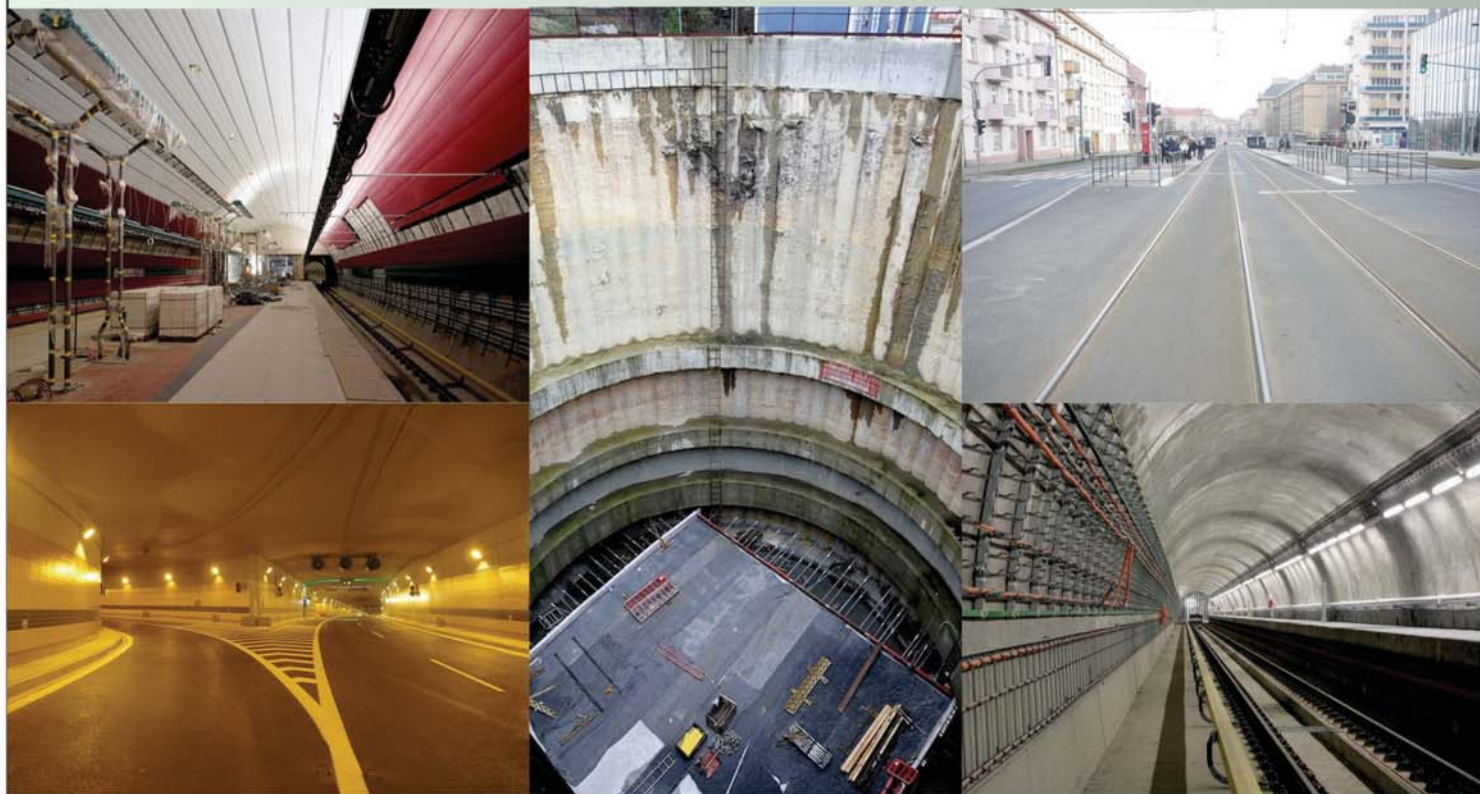


Partner pro vaše stavby

Držitel certifikátu jakosti dle ČSN EN ISO 9001, 14001, OHSAS 18001

Spolupráce při vytváření investičního záměru investora
Obstarávání a vedení projektů
Zajištění územního rozhodnutí a stavebního povolení
Organizování soutěží na výběr dodavatelů
Zeměměřičské práce
Technický dozor investora
Kolaudace stavby a její předání uživateli
Studijní prověřování využitelnosti pozemků

Assistance in the development of an investment program
Project procurement and management
Provision of zoning decisions and building permits
Organising tender procedures for the selection of contractors
Surveying
Investor supervision services
Inspection of completed buildings and transfers to the user
Studies evaluating land utility



TRADICE, ZKUŠENOSTI A ROZSÁHLÉ REFERENCE

Na Moráni 3/360
128 00 Praha 2

e-mail : ids@ids-praha.cz
<http://www.ids-praha.cz>



Trasa V. A pražského metra, zajištění přístupového tunelu Kanadská

Váš spolehlivý partner pro všechny stavby
v kontaktu se zemním prostředím

ZAKLÁDÁNÍ STAVEB, a. s.

K Jezu 1, 143 01 Praha 4, www.zakladani.cz

ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB / THE WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

MOZAIKA ZE SVĚTA

ZKUŠEBNÍ PROVOZ NA NOVÉ TRATI ERFURT – LIPSKO/HALLE

Deutsche Bahn usilovně pokračují ve stavbě páteřní severo-jihní železniční trasy Berlín – Norimberk – Mnichov s pokračováním do italské Verony. V jejím rámci bude celkově zkrácena na polovinu původní cestovní doba z Berlína do Mnichova.

Na dokončeném 123 km dlouhém úseku Erfurt – Lipsko/Halle, který je navržen na rychlost 300 km/hod., probíhají od srpna 2014 zkoušky a jeho uvedení do provozu se předpokládá v prosinci 2015. Úsek zahrnuje mnoho umělých staveb, mezi kterými jsou tři tunely: Finne (6970 m), Bibra (6466 m) a Osterberg (2082 m).

Na již dokončenou trasu Mnichov – Norimberk naváže v roce 2017 úsek Norimberk – Erfurt.

NOVÁ ŽELEZNIČNÍ TRASA WENDLINGEN – ULM

Symbolickým začátkem ražby tunelu Bossler na nové železniční trase délky 59,6 km mezi Wendlingem a Ulmem byl 8. listopadu 2014 slavnostní křest tunelovacího stroje dodaného firmou Herrenknecht. Na celé trase je devět tunelů, jejichž celková délka tvoří skoro polovinu trasy. Tunel Bossler (8806 m) je ze všech tunelů nejdelší a společně s následujícím tunelem Steinbühl (4847 m) převádějí trasu z nižšího území za Wendlingem na švábskoalpskou náhorní planinu. Tunely jsou tvořeny dvěma jednokolejnými tunelovými troubami a mezi nimi překonává údolí 485 m dlouhý most Filstal.

Ražba tunelu Bossler byla zahájena od portálu Aichelberg tunelovacím strojem průměru 11,34 m, který po vyražení pravděpodobně 2,8 km dlouhého úseku bude vytažen a znovu nasazen na

stejně dlouhou ražbu druhé tunelové trouby. Železobetonové segmenty pro ostění se k portálu dovážejí po již vybudovaných kolejích.

Zbytek tunelu se bude razit konvenčně z mezilehlé rozrážky dovrchně i úpadně pomocí dvou čeleb v každém tunelu. K rozrážce byl již vyražen 984 m dlouhý přístupový tunel. Dokončení tunelu Bossler se plánuje v roce 2018 a celá trasa má být hotova v roce 2021.

NOVÉ ŽELEZNIČNÍ KŘÍŽENÍ PYRENEJÍ

Zrychlení dopravy a zvýšení objemu dopravovaného zboží mezi Francií a Španělskem by měla zajistit nová trať přes centrální pyrenejský horský masiv. Od roku 2013 velmi intenzívně pokračuje zpracování analýz a studií souvisejících se záměrem postavit tuto vysoce kapacitní trať zahrnující básový tunel.

ÚSPĚCH ČÍNSKÝCH ZEMINOVÝCH ŠTÍTŮ V MALAJSIÍ

Čínská společnost CREG (China Railway Engineering Equipment Group Co., Ltd.) vyprojektovala a vyrobila pro ražbu tunelů v Kualu Lumpur dva zeminové štíty o průměru řezné hlavy 6670 mm. Ve složitých místních i geotechnických podmínkách vyrazily štíty tunely délky 2814 m, přičemž jejich maximální měsíční výkony byly 330 m, resp. 345 m. Ražby byly dokončeny v říjnu 2014.

Že si vedení ČLR úspěšného výrobce štítů váží, dokazuje i návštěva čínského prezidenta Xi Jingpinga ve výrobním závodu CREG v květnu 2014.

Úspěšné nasazení štítů v Malajsii vedlo k dalším objednávkám, například pro linku podzemní dráhy v Singapuru. Po ovládnutí společnosti Wirth TBM v roce 2013 CREG nabízí také zařízení pro strojní hloubení šachet. Založením pobočky v Německu chce firma vstoupit i na evropský a jihoamerický trh.

ROZVOJ ŽELEZNICE PODÉL RÝNA

Rýnská železnice je jednou z nejvytíženějších železničních tras v Evropě. Aby zvládla dopravu kontejnerů z přístavů u Severního moře do Švýcarska a Itálie, je postupně přebudována na čtyřkolejnou. S tím souvisí i stavba nového dvojkolejného úseku délky 10 km jižně od Karlsruhe, jehož součástí je i 4270 m dlouhý tunel Rastatt.

PŘELOŽENÍ DÁLNIČE A2 V MAASTRICHTU DO PODZEMÍ

Stavba se nazývá „Zelený koberec“, což naznačuje, že prostor současného průtahu vytížené dálnice A2 městem Maastricht se má změnit na klidný městský prostor skoro parkového charakteru s minimálním automobilovým provozem.

Nejde ale jen o přeložení dálničního tahu do podzemí v délce 2,3 km. Hloubením způsobem většinou pod ochranou štetovnicových stěn se buduje dvoupatrový tunel se samostatnými tunelovými troubami pro každý směr. Spodní úroveň je určena pro provoz dálnice, horním patrem bude jezdit místní a regionální doprava. Na každém konci tunelů budou tedy dva samostatné portály pro spodní a horní tunel.

Uvedení tunelů do provozu se předpokládá koncem roku 2016.

PRVNÍ DÁLNIČE V ČERNÉ HOŘE

Blíží se zahájení stavby 169,2 km dlouhé dálnice mezi Barem a Boljare, která bude první dálnicí v Černé Hoře. Stavba začne 41 km dlouhým úsekem mezi Smokovace-Uvce a Matesevo, na kterém je 11 tunelů celkové délky 14 km. Financování zajistí z 85 % čínská Exim Bank a čínské firmy CCCC CRBC v roce 2014 získaly dodavatelství tohoto úseku.

ZAJIŠTĚNÍ RAŽEB VARŠAVSKÉHO METRA

Ve Varšavě se staví druhá linka metra 30 km dlouhá s 28 stanicemi. Trasa podchází v pražské čtvrti historické budovy, což vzbudilo obavy z případných škod vyvolaných poklesem terénu při tunelování. Pro vytvoření příznivějších podmínek pro ražbu tunelovacími stroji pod budovami byla zvolena technologie vodorovného řízeného vrtání do vzdálenosti až 250 m a následně injektáže. Takto se má zabezpečit kalota a její blízké nadloží. Při vrtání se současně zatahuje ocelová pažnice Ø 140 mm, do ní se následně instalují injektážní PVC trubky. Injektáž probíhá souběžně s vytahováním ocelové pažnice. Po cementové injektáži může být ještě provedeno doinjektování chemickou směsí.

Podrobnosti lze nalézt v článku v listopadovém čísle časopisu Tunnels and Tunnelling.

AMBERG BUDE PROJEKTOVAT NOVÝ SILNIČNÍ TUNEL POD SUEZSKÝM KANÁLEM

Švýcarský Amberg Engineering AG je zodpovědný za projekt nového raženého tunelu pod Suezským kanálem poblíž Port Saidu. Dvě trouby délky 2,2 km se budou razit štítem o průměru skoro 13 m. Součástí projektu jsou také šachty a propojky autobusů. Stavba by měla být zahájena koncem roku 2015.

DALŠÍ TUNELY NA RAKOUSKÉ DÁLNICI A9

V roce 2004 byla dálnice A9 uvedena do provozu v celé délce – od předalpské křižovatky nedaleko Lince (Voralpenkreuz) až na slovinské hranice u Spielfeldu. Dálnice ale v plném rozsahu dokončena nebyla. To se týkalo úseku mezi městečkem Klaus a St. Pankraz i tunelů Bosruck a Gleinalm. Obtížné podmínky výstavby představuje tzv. „řetěz“ tunelů u Klausu, který zahrnuje stavbu druhých trub tunelů Klaus (2,2 km), Spering (2,9 km), Traunfried (450 m) a Falkenstein (750 m). Celý úsek je dlouhý 8 km a je tvořen prakticky jen tunely a mosty, jejichž vybudování bylo podmínkou pro stavbu tunelů.

Stavba druhých trub tunelů Spering a Falkenstein byla slavnostně zahájena v prosinci 2014, v dubnu 2015 následovalo zahájení výstavby tunelů Traunfried a Klaus.

Na konci roku 2017 bude provoz převeden do nových trub, tím bude umožněna rekonstrukce starých tunelů.

NOVÉ PODZEMNÍ ZKUŠEBNÍ PRACOVISTĚ V RAKOUSKU

Pod dohledem Montanuniversität Leoben vzniká nové podzemní zkušební, testovací a vzdělávací pracoviště, nazvané Zentrum am Berg (ZaB). Umístěno je poblíž štyrského města Eisenerz v chodbách rudného dolu, který již pro dobývání rudy neslouží, rudné ložisko se exploatuje z povrchu. Novou ražbou, úpravou a rozšířením stávajících chodeb vznikne pracoviště celkové délky přibližně 3 km, které bude sestávat:

- z asi 1 km dlouhé štolý určené pro rozmanité zkoušky;
- z dvojice silničních tunelů délky cca 450 m vč. propojek umožňujících mj. testovat větrání a provádět požární zkoušky v měřítku 1:1;
- z dvojice jednokolejných železničních tunelů napojených před portálem na koleje rakouských železnic.

Všechny tyto tři části mají svůj vlastní portál a v hoře jsou v jednom místě vzájemně propojeny.

Druhem a rozsahem prováděných zkoušek bude toto pracoviště zcela ojedinělé a předčí možnosti, které nabízí např. zkušební štola ve švýcarském Hagerbachu. Výzkumná činnost bude probíhat již při jeho budování. V plném provozu by ZaB mělo být za tři až čtyři roky.

SPOLEČNÝ TUNEL PRO AUTOMOBILY A METRO POD ŘEKOU YANGTZE VE WUCHANU

Desetimilionový Wuchan je rozdělen na dvě poloviny řekou Yangtze, která je v nejužším místě v centru města široká 1 km. Řeku zatím podcházejí tři linky metra a nyní k nim přibude nově budovaná linka č. 7. Poprvé ale bude metro součástí tunelu, který současně převede na druhý břeh i automobilový provoz z ulice Sanyang v centru města.

Dvě tunelové trouby o vnitřním profilu 13,9 m s ostěním ze segmentů tl. 650 mm budou mít v horní polovině třípruhovou vozovku a v dolní polovině kolejiště metra a bezpečnostní a servisní prostory. Tunely dlouhé 2,5 km budou raženy dvěma kombinovanými štíty firmy Herrenknecht s vnějším profilem 15,76 m v hloubce až 39,5 m pod řekou. Ostění musí odolat hydrostatickému tlaku max. 5,3 bar.

Stavba byla zahájena v roce 2014, dokončení se očekává v roce 2017.

NOVÝ BÁZOVÝ TUNEL SEMMERING

Délka nového báзовého tunelu Semmering (SBTn) bude 27,3 km, v trase bude jedna multifunkční stanicí a dvě ventilační šachty, propojky budou po 500 m. Přípravné práce jsou částečně dokončeny, a tak se blíží zahájení ražeb vlastních traťových tunelů. Ražby od portálu u Gloggnitz (směr od Vídně) by měly být zahájeny v jarních měsících 2015 konvenčním způsobem. Následovat budou mezilehlé ražby z přístupového tunelu Göstritz.

Práce na centrální sekci SBTn nazvané Tunnel Fröschnitgraben budou zahájeny ve druhé polovině roku 2015 hloubením dvou přes 400 m hlubokých šachet. Nejprve se z povrchu provedou cca 30 m hluboké vrtané piloty a v takto vzniklém zárodku šachet se smontují dvě vertikální hloubící zařízení, každé vysoké přibližně 30 m. Po vyhloubení šachet budou v podzemí vyraženy kaverny, ze kterých se budou razit traťové tunely – dva tunelovací stroje budou nasazeny na asi 9 km dlouhém úseku směrem ke Gloggnitz, v opačném směru na Graz se budou konvenčně razit přibližně 4 km. Veškerou logistiku zajistí svislá doprava ve zmíněných šachtách o světlém průměru 10 m. Ražby by měly být zahájeny v roce 2017.

Uvedení SBTn do provozu se předpokládá v roce 2025.

Ing. MILOSLAV NOVOTNÝ, mila_novotny@volny.cz

ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ / NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCES

JUBILEJNÍ 20. ROČNÍK SEMINÁŘE ZPEVNŮVÁNÍ, TĚSNĚNÍ A KOTVENÍ HORNINOVÉHO MASIVU A STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ V OSTRAVĚ

JUBILEE 20TH ANNUAL SEMINAR ON STABILISATION, SEALING AND ANCHORING OF GROUND MASS AND CIVIL ENGINEERING STRUCTURES IN OSTRAVA

On the 12th – 13th February 2015, the 20th annual seminar on *Stabilisation, Sealing and Anchoring of Ground Mass and Civil Engineering Structures* was held in Ostrava. This professional event, which is every year co-organised in collaboration of the Department of Underground Construction of the Faculty of Civil Engineering, VŠB - Technical University of Ostrava and Minova Bohemia s.r.o., already traditionally attracts great interest of professionals from the geotechnical and mining practice as well as professionals from the research and pedagogical sphere. This year the seminar was attended by about 130 participants, 25 of whom arrived from abroad.

V termínu 12.–13. 2. 2015 se konal v prostorách Nové auly Vysoké školy báňské – Technické Univerzity Ostrava jubilejní 20. ročník semináře *Zpevňování, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí*. Tato odborná akce, spolupřátaná každoročně ve spolupráci katedry geotechniky a podzemního stavitelství Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava a firmy Minova Bohemia s.r.o., se již tradičně setkává s velkým zájmem jak odborníků z geotechnické a hornické praxe, tak i odborníků z vědeckovýzkumné a pedagogické sféry. Celkem se letošního ročníku zúčastnilo asi 130 účastníků, z toho 25 účastníků přijelo na seminář ze zahraničí (Slovensko, Polsko, Rumunsko, Slovinsko, Nizozemsko) a bylo prezentováno celkem 31 příspěvků.

Jak zdůraznil v úvodu semináře Ing. Petr Kučera, ředitel společnosti Minova Bohemia s.r.o., u zrodu této odborné akce byli v roce 1996 dlouholetí odborní garanti tohoto semináře prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc. z VŠB-TU Ostrava a Ing. Drahomír Janíček z tehdejší firmy CarboTech Bohemia. Pod odborným vedením těchto garantů se seminář v následujících letech úspěšně rozvíjel, z původní komorní akce pro zhruba 30 účastníků se postupně vyprofiloval seminář pro řádově 130–200 účastníků, nad kterým převzala záštitu jak Česká tunelářská asociace, tak i Český báňský úřad. Seminář získal v posledních letech rovněž své pevné místo v kalendáři vzdělávacích akcí České komory autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě. V počátečních ročnících probíhalo jednání semináře v jedné společné sekci zahrnující jak geotechnické, tak i hornické problémy. Postupem času s růstem zájmu o prezentaci stále většího množství příspěvků došlo v roce 2001 k rozdělení jednání na dvě samostatné sekce – sekci geotechnickou a sekci hornickou. I přes značný útlum hlubinného hornictví v České republice v posledním období byla i v letošním roce programově hornická sekce naplněna.

Přehledem technologicky významných injekčních zakázek firmy Minova Bohemia se zabýval ve svém příspěvku Ing. Cigler (podzemní zásobník Příbram – Háje, přivaděč ostravského oblastního vodovodu, přivaděč pitné vody Želivka, přivaděč pitné vody Vířského oblastního vodovodu, tunel Dobrovského v Brně).

Problematickou utěšňování přítoků vod do vnitřního prostoru přivaděče přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně prezentoval ve svém příspěvku Ing. Hájovský (SG-Geoinženýring s.r.o.). Dalším příspěvkem z oblasti těsnění stavební jámy hotelu byl příspěvek Ing. Grossmanna z firmy Minova Bohemia s.r.o. Kolegové ze Slovenské technické univerzity Bratislava (Ing. Súlovská, Ph.D., prof. Turček) se zabývali v prvním ze svých příspěvků přístupem k realizaci a vyhodnocení vodních tlakových zkoušek pro stanovení propustnosti horninového prostředí, druhý příspěvek byl pak věnován problematice výběru vhodné injekční směsi pro kompenzační injektáž.

Vlivy odvodňovacích a těsnících opatření, spojených s realizací a provozem malých vodních elektráren, ve svém příspěvku, který zpracoval společně s kolegy s MVE TEKOV s. r. o. Bratislava, prezentoval

prof. Hulla. Zajímavý příspěvek ilustrující možnosti využití plastových štětovic pro těsnící účely v geotechnické praxi, včetně příkladů jejich aplikací na stavbách v Polsku, uvedl Ing. Súkeník z firmy Minova Bohemia s.r.o.

Kolektiv autorů z university v Gliwicích pod vedením prof. Joanny Bzowky prezentoval příspěvky z oblasti vlivu technologických parametrů na geometrii sloupů tryskové injektáže, v dalším příspěvku se pak uvedený kolektiv zabýval faktory určujícími efektivitu zlepšování vlastností jílovitých zemin.

Ing. Grossmann společně s autory z firmy Sanace a vysoušení staveb s. r. o. prezentoval zkušenosti z aplikace zpevňující injektáže cihelného zdíva historických kleneb. Metodami sanace části primárního kolektoru města Brna se zabývala ve svém příspěvku Ing. Wetterová (AMBERG Engineering Brno a.s.). Jistě aktuálním příspěvkem z oblasti progresivních technologií využívaných při sanacích a statickém zabezpečení mostních objektů byl příspěvek Ing. Cabana.

Využitím skalních ochranných ocelových sítí a dynamických bariér při sanačních úpravách skalních stěn se zabývaly příspěvky kolektivu autorů z firmy UNIGEO a.s. a příspěvek Ing. Chodackého z firmy Minova Bohemia s.r.o.

Velká část příspěvků byla věnována problematice kotvení, a to jak v geotechnice, tak i hornictví (historie využití svorníkové výztuže v HBP a. s. Prievidza, využití kotevních prvků v podmínkách tunelu Ovčiarso, experimentální stanovení únosnosti tmele svorníku, numerické modelování svorníkové výztuže, zkušenosti s využitím injekčních pramencových svorníků na Dole Paskov). V této oblasti jistě účastníky semináře zaujal příspěvek Ing. Sembola z firmy OKD a. s., který prezentoval využití pramencových kotev při aplikaci vysokého kotvení pro zajištění likvidačního kanálu porubu. Dr. Gluch z univerzity v Gliwicích se ve svém příspěvku zaměřil na problematiku nových typů podpěrných obloukových konstrukcí a jejich využití v důlních podmínkách, společně s D. Gizou pak dále připravil příspěvek týkající se dlouhých, vysoce únosných důlních stojek.

Na semináři byla rovněž zastoupena problematika tunelových staveb. Zkušenosti a poznatky z realizace sanace tunelového ostění z železobetonových segmentů při výstavbě trasy metra V.A uvedl ve svém příspěvku kolektiv autorů Ing. Hybský (Metrostav a.s.) a Ing. Grossmann (Minova Bohemia s.r.o.). Problematickou tunelu Batuta na trase železničního koridoru Curtici – Simeria v Rumunsku, včetně modelové analýzy pomocí softwaru MIDAS GTS, se zabýval příspěvek kolektivu rumunských autorů z firem Eng. SC Geodor project SRL a Eng. Minova Romania z Bukurešti. Autoři Ing. Dohnálek a Ing. Piza (Subterra a.s.) a RNDr. Chmelář (PUDIS a.s.) se zamýšleli ve svém příspěvku nad přínosem realizace průzkumné stoly pro ražbu Tunelu Radlice. Ing. Výdrová přednesla v rámci semináře srovnání tunelovacích metod NRTM a ADECO-RS, příspěvek M. Ochmaňského z univerzity v Gliwicích se zabýval numerickým modelováním ražby tunelu s aplikací ochranné klenby ze sloupů tryskové injektáže. Problematice rekonstrukce galerie Říkovského tunelu se věnoval příspěvek Ing. Žáka z firmy Minova Bohemia s.r.o.

Seminář ukázal přínos odborných setkávání a výměny zkušeností a informací a lze si jen přát, aby se podařilo i příští ročník semináře naplnit zajímavými příspěvky, které by stejně jako letos přitáhly zájem a pozornost účastníků semináře a přispěly k bezpečnější, ekonomičtější a efektivnější realizaci staveb.

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

TUNELÁŘSKÉ ODPOLEDNE 1/2015 TUNNEL AFTERNOON 1/2015

The Tunnel Afternoon on the topic of *Slovak tunnels under construction* was held on the 25th March 2015. Ing. Jiří Kocián was the first lecturer. He assessed the experience gathered by employees of Metrostav a.s. during the course of driving the Poľana tunnel through the Carpathian flysch formation environment. Further, Ing. Mařík prepared a paper on the construction of the Povážský Chlmec tunnel. Ing. Tomáš Just delivered a lecture on the procedure of the Čebrať tunnel construction. The next topic – the geotechnical monitoring of tunnels in Slovakia – was presented by Ing. Václav Veselý a Ing. Ota Jandejsek. Mgr. David Hruška dedicated himself to the experience from the realisation of contracts in the “Yellow FIDIC” regime, which is used in Slovakia.

Dne 25. března 2015 se uskutečnilo Tunelářské odpoledne na téma *Slovenské tunely ve výstavbě*. Zahájil jej místopředseda České tunelářské asociace ITA-AITES, z. s., prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.

První vystoupil Ing. Jiří Kocián (Metrostav a.s.) a zhodnotil zkušenosti, které doposud získali pracovníci Metrostavu během ražeb tunelu Poľana v prostředí karpatského flyše. Svě vystoupení obohatil i o promítnuté video, které dobře ilustrovalo geologické poměry na stavbě. Potom pokračoval Ing. Mařík (IKP Consulting Engineers, s.r.o.), který si připravil příspěvek o výstavbě tunelu Povážský Chlmec, kde se v současnosti razí z osmi portálů a na třech místech je použita metoda tzv. „želvy“.

Po přestávce přednesl Ing. Tomáš Just (OHL ŽS, a.s.) informace o postupu výstavby tunelu Čebrať. Dalším tématem byl geotechnický monitoring tunelů na Slovensku. Ing. Václav Veselý a Ing. Ota Jandejsek (ARCADIS CZ a.s.) popsali specifika jednotlivých slovenských tunelů, kde společnost ARCADIS CZ a.s. působí, a díky tomu mohli porovnávat jednotlivé lokality.

Jako poslední vystoupil Mgr. David Hruška (Metrostav a.s.). Věnoval se tematice podzemních staveb ze zcela jiného pohledu, a to jaké mají účastníci výstavby zkušenosti s realizací staveb v režimu „Yellow FIDIC“, který se na Slovensku používá. Sice mohlo být zmíněné téma pro některé účastníky méně srozumitelné, ale vzhledem k tomu, že lze předpokládat rozšiřování užívání těchto předpisů, je velice přínosné, aby byli lidé s principy FIDIC seznámeni a věděli, jaké jsou jeho přínosy a naopak jaké nevýhody z něj plynou.

Téma Tunelářského odpoledne 1/2015 bylo svou náplní velmi aktuální, přilákalo ještě více posluchačů než předchozí semináře, zúčastnilo se jej přes 120 jedinců. Lze jen doufat, že i v České republice přibude časem podzemních staveb, které budou tvořit lákavou náplň Tunelářských odpolední.

Přípravu odborného programu zajistil Ing. David Cyroň (Metrostav a.s.). Vybrané prezentace lze vyhledat na webových stránkách asociace www.ita-aites.cz.

Ing. MARKÉTA PRUŠKOVÁ, Ph.D.,
pruskova@ita-aites.cz,
CzTA ITA-AITES



ČVUT v Praze

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí

8. mezinárodní konference FIBRE CONCRETE 2015

10.-11.9.2015

Hotel DAP Praha

Fibre Concrete 2015 je mezinárodní konferencí zaměřenou na vláknobetony, která má dnes již svou tradici. Záměrem konference je zprostředkovat výměnu zkušeností mezi odborníky zabývajícími se touto oblastí a zároveň informovat technickou veřejnost o problematice vláknobetonů, o jejich vlastnostech, výrobě a možnostech využití. Na konferenci budou prezentovány výsledky experimentálního výzkumu, vývoje nových materiálů, rozvoje nových návrhových metod a jejich zavádění do projekční praxe včetně ukázky úspěšných aplikací vláknobetonu v konstrukcích.

Konference je určena širokému okruhu odborníků z oblasti vývoje, výzkumu, technologie a výroby betonu, ale i projektantům, technologům a podnikatelům ve stavebnictví.



Informace

Ing. Vladimíra Vytlačilová, Ph.D.
e-mail: fc2015@fsv.cvut.cz
<http://concrete.fsv.cvut.cz/fc2015>

AKTUALITY Z PODZEMNÍCH STAVEB V ČESKÉ A SLOVENSKÉ REPUBLICCE CURRENT NEWS FROM THE CZECH AND SLOVAK UNDERGROUND CONSTRUCTION

ČESKÁ REPUBLIKA

SLAVNOSTNÍ OTEVŘENÍ PRODLOŽENÍ TRASY METRA V.A

Na Velikonoční pondělí dne 6. 4. 2015 bylo slavnostně otevřeno metro V.A, kdy k symbolickému přestřihnutí pásky došlo v 11:00 hodin SEČ.

Otevření 6,134 km dlouhé trasy následovalo po třítydenním ověřovacím provozu bez cestujících, během kterého byly otestovány kompletní technologické systémy ve stanicích i traťových tunelech. Během této doby také probíhaly kolaudace a poslední úpravy interiéru stanic.

Slavnostní otevření nového úseku metra bylo zahájeno ve stanici Nádraží Veleslavín. Hosty přivítal „hlas metra linky A“ – moderátorka Světlana Lavičková z ČRo Dvojka, která pak dále předala slovo panu premiérovi, paní primátorce, generálnímu řediteli Dopravního podniku hl. m. Prahy a dalším. Při samotném ceremoniálu byla také pokřtěna nová kniha o stavbě metra V.A „Áčko jede do Motola“ a na nástupišti zazpíval Pěvecký sbor Dopravního podniku pod vedením sbormistra Lukáše Janířky skladbu speciálně složenou k otevření metra. Součástí programu byly i dvě přistavené soupravy metra, kde tou modernější (81-71M) se následně projel celý nový úsek včetně zastávek ve stanicích Bořislavka, Petřiny a Nemocnice Motol. Prototyp historické soupravy metra (81-71), který zajišťoval provoz na lince metra A od srpna 1978 až do června roku 2005, pak sloužil jako místo k posezení při následném rautu.

Provoz pro cestující veřejnost byl zahájen téhož dne v 15:00 hodin.



Stanice Bořislavka
Bořislavka station platform

Foto/Photo Josef Husák

MODERNIZACE TRATI ROKYCANY – PLZEŇ

Dne 31. 1. 2015 byly po přijímacích zkouškách zeminového stroje EPBM pro ražbu tunelů Ejpvovice na stavbě „Modernizace trati Rokycany – Plzeň“ zahájeny ražby a postaven první prstenec jižního jednokolejného tunelu. Na konci března 2015 bylo vyraženo celkem 178 m a postaveno 85 prstenců. Ražby probíhají ve velmi nepříznivých geotechnických podmínkách spojených zejména s vysokými přítoky podzemní vody a s nestabilitou čelby.

THE CZECH REPUBLIC

METRO EXTENSION V.A INAUGURATION CEREMONY

The metro line A extension, denoted as V.A, was inaugurate on the Easter Monday, the 6th April 2015; the tape was symbolically cut at 11:00 a.m. of CET.

The 6.134km long line was brought into service after a three-week trial operation without passengers, during which complete technological systems in the stations and running tunnels were tested. In addition, final inspection proceedings and last adjustments to the interiors of stations were carried out.

The new metro section inauguration ceremony commenced in Nádraží Veleslavín station. The guests were welcomed by the “metro line A voice” – Světlana Hlavičková, the ČRo Dvojka radio host. She subsequently passed the word to the Prime Minister, Mrs. Mayor, the general director of the Prague Public Transit Company Inc. and others. In addition, a new book on the construction of Metro V.A “Áčko jede do Motola” was baptised during the ceremony and the choir of the Transit Company under choirmaster Lukáš Janířek sang an opus specially composed for this metro inauguration event. Two metro trains furnished to the platform were also parts of the programme. The more advanced of them (81-71M) subsequently passed throughout the new section length including stops in Bořislavka, Petřiny and Nemocnice Motol stations. The prototype of the historic metro train (81-71), which secured the operation on metro line A from August 1978 through to June 2005, was subsequently used as a place for seating during the subsequent banquet.

The revenue service started on the same day at 15:00 hours.

MODERNISATION OF ROKYCANY – PLZEŇ RAILWAY TRACK SECTION

Driving the Ejpvovice tunnels started and the initial lining ring of the southern single-track tunnel was erected on the 31st January 2015, after the completion of the acceptance proceedings for the EPB TBM designed for driving the Ejpvovice tunnels for the “Modernisation of Rokycany – Plzeň Railway Track Section” project. By the end of March 2015, 178m of the tunnel excavation had been completed and 85 lining rings had been erected. The tunnelling operations are conducted in very unfavourable geo-technical conditions connected first and foremost with high rates of groundwater inflows and the instability of the excavation face.

D8 MOTORWAY – CONSTRUCTION LOT 805: LOVOSICE–ŘEHLOVICE

In the Prackovice and Radejčín tunnels, civil, ventilation and electrical installation work are being completed. Casting concrete of walkways and laying tunnel kerbs has been finished in both tubes of the two tunnels.

At the Prackovice tunnel, the work on the revetment wall is in progress, including the application of a surcharging and stabilising fill. At the Radejčín tunnel, the quarry stone cladding of the Prague portal has been finished and, on the Ústí Nad Labem side, the portal slopes are being treated, the operations-and-technical building is being backfilled and drainage troughs are being laid.

DÁLNIČE D8 – 0805 LOVOSICE – ŘEHLOVICE

V tunelech Prackovice a Radejčín se dokončují stavební, vzduchotechnické a elektroinstalační části provozně-technických objektů. Jsou dokončeny betonáže chodníků a pokládka tunelových obrubníků v obou tunelových troubách tunelů.

U tunelu Prackovice probíhají práce na zárubní zdi včetně zhotovení přítěžujícího a stabilizačního násypu. U tunelu Radejčín je proveden obklad pražského portálu z lomového kamene a na ústecké straně probíhají úpravy portálových svahů, zásyp provozně-technického objektu a pokládka odvodňovacích žlabů.

K celkovému dokončení trasy dálnice včetně obou tunelů bohužel stále chybí platná prováděcí legislativa.

*Ing. BORIS ŠEBESTA, sebesta@metrostav.cz,
METROSTAV a.s.*

PRŮZKUMNÁ ŠTOLA PRO RADLICKOU RADIÁLU JIHOZÁPADNÍ MĚSTO – SMÍCHOV

Na stavbě průzkumné štoly pro Radlickou radiálu byla vyražena druhá výhybna a do poloviny dubna bylo vyraženo 363 m štoly. V současné době ražby probíhají v druhé technologické třídě. Ražba štoly doposud prošla pod ulicí Ke Sklárně, Městským okruhem, tratí ČD, ulicí Křížová a ulicí Nový Zlíchov. Byly provedeny třetí presiometrické vějíře a souběžně probíhají průzkumné práce na povrchu v rozsahu celé trasy plánované Radlické radiály.

*Ing. JAN VINTERA, JVintera@subterra.cz,
Subterra a.s.*

SLOVENSKÁ REPUBLIKA

TUNEL ŠIBENIK

Na stavbě diaľničného tunela Šibenik dĺžky 588 m bolo dokončené betónovanie sekundárneho ostenia. V súčasnosti prebieha betonáž CBT krytu vozovky na oboch tunelových rúrach a montáž technologických celkov. Tunel Šibenik bude súčasťou úseku diaľnice D1 Jánovce – Jablonov celkovej dĺžky 9,5 km. Zhotoviteľom stavby je združenie Eurovia SK, a. s., Eurovia CS, a. s., Stavby mostov Slovakia, a. s. Ukončenie stavby a uvedenie diaľničného úseku do prevádzky sa predpokladá v roku 2015.

TUNELY POĽANA A SVRČINOVEC

Na stavbe úseku diaľnice D3 Svrčinovec – Skalité súčasťou stavby sú aj tunely Poľana (890 m) a Svrčinovec (445 m). V súčasnosti je na tuneli Poľana vyrazených 517 m kaloty, 420 m lavice a 160 m dna. Razenie sa realizuje od západného portálu. Na východnom portáli prebiehajú práce na zárubnom múre. Prebieha razenie na Únikovej ceste 2. V tuneli Svrčinovec je v súčasnosti vyrazených 324 m v kalote, 245 m v lavici a 60 m dna od západného portálu. Na východnom portáli prebieha navrhovanie mikropilotového dáždnika v pravej tunelovej rúre (PTR). Výstavbu úseku zabezpečuje združenie štyroch spoločností: Váhovstav – SK, a. s., Doprastav, a. s., Strabag, a. s., a Metrostav SK, a. s.

TUNELY OVČIARSKO A ŽILINA

Na úseku D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka súčasťou stavby sú dva tunely: Ovčiarisko (2367 m) a Žilina (651 m). Na tuneli Ovčiarisko prebieha razenie zo západného portálu, kde v severnej tunelovej rúre je vyrazených 776 m v kalote a v južnej tunelovej rúre 690 m v kalote. Na východnom portáli začalo samotné razenie. V severnej tunelovej rúre je vyrazených 33 m v kalote a južnej tunelovej rúre 5 m v kalote.

Unfortunately, the valid implementing legislation is still missing to allow for the overall completion of the motorway route including both tunnels.

*Ing. BORIS ŠEBESTA, sebesta@metrostav.cz,
METROSTAV a.s.*

EXPLORATORY GALLERY FOR RADLICE RADIAL ROAD IN THE SOUTH-WESTERN SATELLITE TOWN – PRAGUE SMÍCHOV

The excavation for the second passing bay has been finished at the construction of the exploratory gallery for the Radlice radial road. The length of 336m of the gallery excavation was finished till the end of April 2015. At the moment, the excavation is passing through the support class No. 2. The gallery excavation has passed under Ke Sklárně Street, the City Circle Road, a Czech Railways' track, Křížová Street and Nový Zlíchov Street. Fans of pressure-meter boreholes were carried out and exploratory work is simultaneously underway on the surface within the extent of the entire planned route of the Radlice radial road.

*Ing. JAN VINTERA, JVintera@subterra.cz,
Subterra a.s.*

THE SLOVAK REPUBLIC

ŠIBENIK TUNNEL

Casting of concrete of the secondary lining was completed on the construction site of the 588m long Šibenik motorway tunnel. At the moment, casting of concrete pavement is underway in both tunnel tubes and tunnel equipment is being installed. The Šibenik tunnel will be part of the 9.5km long Jánovce – Jablonov section of the D1 motorway. A consortium consisting of Eurovia SK, a. s., Eurovia CS, a. s. and Stavby mostov Slovakia, a. s. is the contractor. The works completion and opening the motorway structure to traffic is planned for 2015.

POĽANA AND SVRČINOVEC TUNNELS

The construction of the Svrčinovec – Skalité section of the D3 motorway comprises, among other structures, the Poľana tunnel (890 m) and Svrčinovec tunnel (445 m). At present, the excavation of 517m of top heading, 420m of bench and 160m of invert has been completed in the Poľana tunnel. The tunnel is being driven from the western portal. The work on a revetment wall is underway at the eastern portal. The excavation of the tunnel for the Escape Route 2 continues. As far as the Svrčinovec tunnel is concerned, the excavation of 324m of top heading, 245m of bench and 60m of invert from the western portal has been completed till now. Drilling for the canopy tube pre-support is underway at the eastern portal in the right-hand tunnel tube (RTT). The construction of this motorway section is carried out by a consortium consisting of four companies: Váhovstav – SK, a. s., Doprastav, a. s., Strabag, a. s., and Metrostav SK, a. s.

OVČIARSKO AND ŽILINA TUNNELS

In the Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka section of the D1 motorway, there are the following two tunnels: the Ovčiarisko (2367 m) and the Žilina (651 m). The Ovčiarisko tunnel is currently being driven from the western portal, where 776m and 690m of the partial top headings have been completed till now in the northern tunnel tube and the southern tunnel tube, respectively. The tunnel excavation itself commenced at the eastern portal. Initial 33m and 5m of the partial top headings have been finished in the northern tunnel tube and the southern tunnel tube, respectively. In the Žilina tunnel, the excavation proceeds from the western portal. The length of 46m has been excavated till now. At the eastern portal, the portal wall is being stabilised. The

V tuneli Žilina prebieha razenie od západného portálu. V súčasnosti je vyrazených 46 m. Na východnom portáli prebieha zaistovanie portálovej steny. Stavbu realizuje združenie Doprastav, a. s., Váhovstav – SK, a. s., Strabag, a. s. a Metrostav SK, a. s.

TUNEL ČEBRAŤ

Na úseku D1 Hubová – Ivachnová, ktorej súčasťou je tunel Čebrať (1994 m), v súčasnosti prebieha razenie od východného portálu. V severnej tunelovej rúre je vyrazených 150 m a v južnej tunelovej rúre 150 m. V súčasnosti sú práce na tuneli pozastavené. Zhotoviteľom stavby je združenie spoločností OHL ŽS, a. s., a Váhovstav – SK, a. s.

TUNEL POVAŽSKÝ CHLMEC

Na úseku D3 Žilina Strážov – Žilina Brodno, ktorého súčasťou je tunel Považský Chlmec (2250 m) došlo k začatiu prác 30. 6. 2014. V súčasnosti prebieha razenie od stredového portálu na obe strany v oboch rúrach. Je vyrazených 126 m a 16 m v kalote v severnej tunelovej rúre a 116 m a 10 m v južnej tunelovej rúre. Rzenie prebieha aj od západného portálu. Je vyrazených 58 m v severnej tunelovej rúre a 52 m v južnej tunelovej rúre. Zhotoviteľom stavby je združenie Eurovia a. s., Hochtief a. s. a Stavby mostov Slovakia, a. s.

TUNEL VIŠŇOVÉ

S výstavbou tunela Višňové (7500 m), ktorý je súčasťou úseku D1 Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala, sa začalo dňa 27. 6. 2014. Zhotoviteľom úseku je združenie firiem Salini Impregilo S. p. A a Dúha, a. s. Začatie razičských prác sa predpokladá v druhej polovici mája 2015.

*Ing. MILAN MAJERČÍK,
milan.majercik@ndsas.sk, NDS a. s.*

construction is carried out by a consortium formed by Doprastav, a. s., Váhovstav – SK, a. s., Strabag, a. s. and Metrostav SK, a. s.

ČEBRAŤ TUNNEL

The 1994m long Čebrať tunnel is part of the Hubová – Ivachnová section of the D1 motorway. The tunnel is currently being driven from the eastern portal. In both the northern and southern tunnel tubes, 150m of the excavation sections have been finished. At the moment the work on the tunnel is suspended. The contractor is a consortium consisting of OHL ŽS, a. s., and Váhovstav – SK, a. s.

POVAŽSKÝ CHLMEC TUNNEL

In the Žilina Strážov – Žilina Brodno section of the D3 motorway, containing the 2250m long Považský Chlmec tunnel, the work commenced on 30/06/2014. At the moment, the tunnel is being excavated in both tubes, in both directions from the central portal. In the northern tunnel tube, the excavation of 126m and 16m of the top heading has been completed; 116m and 10m have been finished in the southern tunnel tube top heading. The excavation proceeds even from the western portal. The lengths of 58m and 52m have been finished in the northern tunnel tube and the southern tunnel tube, respectively. The contractor is a consortium consisting of Eurovia a. s., Hochtief a. s. and Stavby mostov Slovakia, a. s.

VIŠŇOVÉ TUNNEL

The construction of the 7500m long Višňové tunnel, which is part of the Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala section of the D1 motorway, commenced on 27/06/2014. The contractor for this section is a consortium consisting of Salini Impregilo S. p. A and Dúha, a. s. The tunnel excavation is assumed to start in the second half of May 2015.

*Ing. MILAN MAJERČÍK,
milan.majercik@ndsas.sk, NDS a. s.*

VÝROČÍ / ANNIVERSARIES

PROF. ING. FRANTIŠEK KLEPSATEL, PH.D. OSEMDESIATNIKOM

PROF. ING. FRANTIŠEK KLEPSATEL, PH.D., OCTOGENARIAN

Dňa 31. 5. 2015 sa dožíva osemdesiatky prof. Ing. František Klepsatel, Ph.D., dlhoročný pracovník katedry geotechniky Stavebnej fakulty STU v Bratislave. Narodil sa v Markušovciach v rodine železničného úradníka a cez Kostofany nad Hornádom, Handlovú, Prievidzu a Bratislavu – Petržalku sa dostal do Bernolákova, kde žije od roku 1953. Po štúdiu na Stavebnej fakulte SVŠT v rokoch 1953–1958 nastúpil v januári 1959 ako asistent prof. Juraja Mencla na katedru dopravných stavieb. V rámci reorganizácie fakulty prešli obaja v roku 1962 na novo vytvorenú katedru geotechniky. V roku 1971 bol menovaný kandidátom technických vied, roku 1980 docentom a v roku 1995 profesorom. Od roku 2007 je emeritným profesorom katedry.

Približne 10ročná úzka spolupráca s prof. Menclom na riešení štátnych a rezortných výskumných úloh dala prof. Klepsatelovi dobrý základ pre neskoršiu samostatnú výskumnú-vývojovú činnosť. S prof. Menclom sa podieľal na upresňovaní výpočtových metód na navrhovanie a posudzovanie ostien štôlní a tunelov. Samostatne riešil technológiu výstavby tlakových privádzačov PVE Čierny Váh, vrátane návrhu ich optimálnych sklonov. Po odchode prof. Mencla zo Stavebnej fakulty v roku

Prof. František Klepsatel, a long-standing employee of the Department of Geotechnics of the Faculty of Civil Engineering of the Slovak Technical University in Bratislava, will celebrate his eightieths birthday on 31st May 2015. He was born in Markušovce in the family of a railway clerk. Via Kostofany nad Hornádom, Handlová, Prievidza and Bratislava – Petržalka, he got to Bernolákovo, where he lives from 1953. After studies at the Faculty of Civil Engineering of the Slovak Technical University during the years 1953–1958, he entered the Department of Traffic Structures as an assistant of Prof. Juraj Mencl in January 1959. They both transferred in 1962 to the newly established Department of Geotechnics within the framework of the faculty reorganisation. He was appointed a Candidate of Technical Sciences in 1971, an assistant professor in 1980 and a professor in 1995. He has been a professor emeritus of the department since 2007.

The approximately 10-year collaboration with Prof. Mencl on state and ministerial research projects gave Prof. Klepsatel a good foundation for subsequent individual research and development work. Together with Prof. Mencl he participated in refining calculation methods for designing and assessing the linings of galleries

1969 prevzal prof. Klepsatel časť jeho pedagogického úväzku; vyučoval predmety Mechanika hornín, Podzemné stavby, Železničné tunely a Lomy. Problematiku podzemných stavieb externe učil aj na Stavebnej fakulte TU v Košiciach. Je autorom, resp. spoluautorom 2 celoštátnych učebníc a 21 skrípt (z toho jednej v nemeckom jazyku).



Vo svojej vedeckej a výskumnej činnosti sa prof. Klepsatel od 60. rokov 20. storočia postupne zameriaval na bezvýkopové metódy výstavby komunálnych štôlní v zeminách metódami štítovania a pretláčania železobetónových potrubí, prielezných aj neprielezných prierezov, neskôr aj na metódy riadeného mikrotunelovania. Dlhodobu spolupracoval s oddelením podzemných vedení na Výskumnom ústave inžinierskych stavieb (VÚIS), kde riešil teoretické problémy týchto stavieb: stanovenie potrebnej pretláčacej sily na potrubie, dimenzovanie opornej steny na pretláčanie a pod. Získané poznatky tvorili tiež veľkú časť jeho kandidátskej a habilitačnej práce. Zásadu prof. Mencla, že každá úloha je splnená až vtedy, keď jej výsledky sú publikované, si osvojil už ako mladý asistent. Prof. Klepsatel je spoluautorom 12 knižných publikácií, 125 vedeckých a odborných príspevkov v časopisoch a zborníkoch (z toho 41 v zahraničí) a asi 120 výskumných prác a expertíz.

V roku 1990 po politickom uvoľnení pohotovo nadviazal osožné kontakty s kolegami – tunelármi na univerzitách vo Viedni a Gazi. Cez grantovú organizáciu SAIA získal postupne 4 projekty zamerané na rakúsko-slovenskú spoluprácu pri výstavbe tunelov. Už v predstihu tak prof. Klepsatel získal množstvo poznatkov, čo mu umožnilo aktívne vstúpiť do prípravy a výstavby prvého slovenského diaľničného tunela Branisko. Pre toto dielo vypracoval mnoho štúdií a bol odborným garantom prác. V rokoch 2002 až 2007 zorganizoval pre dodávateľské organizácie 4 jednosemestrálne kurzy orientované na výstavbu dopravných tunelov, ktorých sa zúčastnilo 68 pracovníkov.

Počas svojho pôsobenia na katedre geotechniky SvF STU bol prof. Klepsatel zástupcom vedúceho katedry, členom akreditačnej komisie, členom akademického senátu fakulty a STU. Zastupoval tiež stavebnú fakultu v Rade vysokých škôl. Bol členom Spoločnosti pre bezvýkopové technológie ISTT, je čestným členom Slovenskej tunelárskej asociácie ITA/AITES. Pracoval vo výbore TJ Slávia STU a v rôznych funkciách v klube turistov.

V mladosti bol prof. Klepsatel výkonným športovcom – ľahkým atlétom. Jeho hlavným koníčkom bola a dodnes ostala turistika a cestovanie. Navštívil pohoria a prírodné rezervácie na všetkých piatich kontinentoch. Napriek vysokému veku ho možno aj v súčasnosti stretnúť hlavne na hrebeňoch slovenských pohorí, v národných parkoch, na zručaninách hradov, splavoch riek a na cyklotrasách.

V mene širokej obce stavebných inžinierov a tunelárov si dovoľujem vysloviť prof. Ing. Františkovi Klepsateloovi, Ph.D. úprimné želanie ešte mnohých plnohodnotne strávených dní, predovšetkým v prírode.

PETER TURČEK

and tunnels. He individually solved the technology for the construction of the force penstocks of the Čierny Váh pumped storage scheme, including the design for their optimal gradients. After the departure of Prof. Mencl from the Faculty of Civil Engineering in 1969, Prof. Klepsatel took over a part of his teaching job; he taught the subjects of Rock Mechanics, Underground Construction, Railway Tunnels and Quarries. In addition, he lectured on underground construction issues externally at the Faculty of Civil Engineering of the Technical University in Košice. He is the author or co-author of 2 nationwide textbooks and 21 university standard texts (one of them in German).

In his scientific and research activities, from the 1960s, Prof. Klepsatel gradually focused himself on trenchless methods of the construction of communal tunnels in soils using shields and jacking reinforced concrete pipes, with both crawlable and non-crawlable profiles, later even on directional microtunnelling methods. He collaborated in the long term with the Department of Underground Lines at the Výskumný Ústave Inžinierskych Stavieb (the Research Institute of Civil Engineering Structures), where he solved theoretical problems of these structures: the determination of the required jacking force acting on a pipeline, the determination of dimensions of a thrust wall for pipe jacking purpose etc. The gathered knowledge formed a substantial part of his candidate and doctoral theses. Already as a young assistant professor, he adopted Prof. Mencl's principle that solving any problem is finished only when the results are published. Prof. Klepsatel is a co-author of 12 books, 125 scientific and professional papers published in magazines and proceedings (41 of them abroad) and about 120 research works and expert opinions.

In 1990, after the political release, he promptly established personal contacts with colleagues – tunnellers at universities in Vienna and Graz. Through the SAIA agency, he won 4 projects in succession focused on the Austro-Slovakian collaboration on tunnel construction projects. In this way, Prof. Klepsatel gathered a lot of knowledge. It allowed him to join the preparation and construction of the first Slovak motorway tunnel, the Branisko. He carried out many studies for this project and was the professional guarantor of the works. In 2002 through to 2007, he organised 4 one-session courses oriented to the construction of traffic tunnels. They were attended by the total of 68 workers.

During his work at the Department of Geotechnics of the Faculty of Civil Engineering of the Slovak Technical University, Prof. Klepsatel was in the position of the deputy head of department, a member of the accreditation committee, a member of the academic senate of both the faculty and the Slovak Technical University. He in addition represented the Faculty of Civil Engineering in the Board of Universities. He was a member of the International society for trenchless technology (ISTT) and is a honorary member of the ITA-AITES Slovak Tunnelling Association. He worked in the Board of the TJ Slavia STU sporting club and in various functions in the club of tourists.

In his youth, Prof. Klepsatel was an active sportsman in track-and-field athletics. The main hobby of his was and remained to be till now tourism and travelling. He visited mountain ranges and nation reserves on all of the five continents. Despite the old age, he can be met even at the present on the ridges of Slovak mountain ranges, in national parks, at ruins of castles, river float trips and on cycling paths.

I would like to express, on behalf of the wide society of civil engineers and tunnellers, the sincere wishes of many other great days spent, first and foremost, in the nature.

PETER TURČEK

75 LET ING. JINDŘICHA HESSE, PH.D. 75TH ANNIVERSARY OF ING. JINDŘICH HESS, PH.D. BIRTH

Připomenout v tomto čísle časopisu Tunel, že Ing. Jindřich Hess, Ph.D., se dožil 13. května 2015 sedmdesáti pěti let, znamená ocenit to, co dokázal ve svém profesním životě, uvědomit si, co znamenal pro současnou přední českou stavební firmu Metrostav a.s., jak přispěl k rozvoji českého podzemního stavitelství i jeho prestiže v zahraničí a jak se zasloužil o Českou tunelářskou asociaci ITA-AITES. Nelze také pominout jeho osobní vlastnosti, pomocí kterých dokázal vytvářet tvůrčí pracovní prostředí a pozitivní vztahy v týmu svých spolupracovníků.



Co je zmíněno výše, lze v tomto textu shrnout jen stručně.

Ing. Jindřich Hess, Ph.D., se narodil v Praze 13. 5. 1940. Vysokoškolská studia absolvoval v roce 1963 na Stavební fakultě ČVUT Praha v oboru inženýrského stavitelství. Část jeho studia ovšem proběhla na Institutu stavebních věd v Rusku. Zde získaná perfektní znalost ruštiny se mu výborně hodila při pozdější práci na stavbě pražského metra v její počáteční fázi, kdy byly přejímány ruské zkušenosti za přítomnosti ruských expertů.

Profesní dráha Ing. Hesse začala v roce 1974 u národního podniku Vodní stavby. Ty o něco později zahájily nejprve stavbu pražské podpovrchové tramvaje, jejíž koncepce byla velmi brzy změněna na klasické metro. Z delimitovaných částí Vodních staveb později vznikl národní podnik Metrostav. Ještě ve Vodních stavbách řídil Ing. Hess montáž a nasazení prvního nemechanizovaného razicího štítu na trase C na pražské Pankráci. Ale celý jeho další profesní život probíhal v Metrostavu. V sedmdesátých letech řídil ražbu tunelů metra pod Vltavou na trase A, kde byl poprvé nasazen ruský mechanizovaný razicí štít.

Jeho organizační schopnosti a technická erudice znamenaly, že po působení ve funkci zástupce provozní jednotky se stal v roce 1977 technickým náměstkem Metrostavu. Od roku 1984 byl výrobním náměstkem, v roce 1988 byl zvolen ředitelem státního podniku Metrostav, aby se posléze po transformaci Metrostavu na akciovou společnost stal v roce 1991 generálním ředitelem a předsedou představenstva Metrostavu a.s.

Je obrovskou zásluhou Ing. Hesse a jeho spolupracovníků, že dokázali převést Metrostav přes nesmírně obtížné období politických a hlavně ekonomických změn kolem roku 1990. Mimořádný je podíl Ing. Hesse na přeměně firmy původně zaměřené dosti výlučně na podzemní stavby na všestrannou a vysoce profesionální stavební společnost.

Z pozice generálního ředitele Ing. Hess na vlastní žádost odstoupil v říjnu 2010, ve společnosti však dále působil v řadě funkcí včetně funkce předsedy představenstva a předsedy dozorčí rady. V současnosti působí ve společnosti ve funkci předsedy dozorčí rady a ve skupině DDM Group je členem správní rady.

Podobně výraznou stopu zanechal Ing. Hess i v České tunelářské asociaci ITA-AITES a také ve světové ITA-AITES. Byl zakládajícím členem tehdy Československého tunelářského komitétu ITA-AITES (rok 1982) a stal se jeho prvním a dlouholetým předsedou. Aktivně pracoval v pracovní skupině ITA (WG), byl zvolen do exekutivy ITA, kde se stal v roce 1998

Reminding readers of this TUNEL journal issue that Ing. Jindřich Hess, Ph.D. lived to see seventy five on the 13th May 2015 means appreciating of all of that he has managed during the course of his professional life, realising what he has meant for Metrostav a.s., a current top Czech construction company, how much he has contributed to the development of the Czech underground construction industry and its prestige abroad and how great credit he has taken for the ITA-AITES Czech Tunnelling Association. Even his personal properties, which helped him to create creative working environment and positive relationships in the team of his collaborators, must not be neglected.

What is mentioned above can be summarised in this text only briefly.

Ing. Jindřich Hess, Ph.D., was born in Prague on the 13th May 1940. He graduated from the Czech Technical University in Prague with a degree in civil engineering in 1963. Although, a part of his studies took place at the Institute of Construction Arts in Russia. The perfect knowledge of Russian gained during the studies came perfectly in useful at the subsequent work on the Prague Metro project in its initial phase, when Russian experience was taken over, including the presence of Russian experts.

The professional career of Ing. Hess commenced in 1974 at the national enterprise of Vodní Stavby (Water Resource Structures). This company later started the initially designed construction of the so-called "subsurface tram" (a LRT system), the concept of which was very soon changed to classical metro. The national enterprise of Metrostav later originated from separated parts of Vodní Stavby. Still in Vodní Stavby, Ing. Hess managed the assembly of the first non-mechanised tunnelling shield on the Line C in the Prague district of Pankrác. However, the whole subsequent professional life took place in Metrostav. In the 1970s he was in charge of driving tunnels under the Vltava River on the Line A, where a Russian mechanised tunnelling shield was deployed for the first time.

His organisational abilities and technical erudition meant that, after the end of his activities in the position of a deputy of a chief of an operating plant, he was promoted to the position of a chief operating officer of Metrostav. From 1984, he was a chief operating officer and, in 1988, he was elected the director of the state-owned company of Metrostav, to become the general director and chairman of Metrostav a. s. Board of Directors after the transformation of the company into a joint-stock company. It is a great merit of Ing. Hess and his collaborators that they managed to guide Metrostav a. s. over the extremely difficult period of political, and first of all economic, changes around the year 1990. The share of Ing. Hess in the transformation of the company originally specialised in underground construction projects to a universal and highly professional construction company is extraordinary.

Ing. Hess resigned from the position of the chief executive officer at his own request in October 2010. Nevertheless, he continued to be active in many functions, including the function of the chairman of the Board of Directors and the chairman of the Supervisory Board; he is a member of the Management Board of DDM Group.

Ing. Hess left a similarly pronounced trail even in the ITA-AITES Czech Tunnelling Association and also in the ITA-AITES association. He was a founding member of the ITA-AITES Czechoslovak Tunnelling Committee of that time (1982) and became the first and long-standing chairman of the organisation. He actively worked in an ITA Working Group (WG), was elected to the ITA Executive, where he became a vice-president in 1998. He also takes credit for spreading the good name of the Czech underground construction industry abroad. In addition, he took advantage of his influence for

viceprezidentem. Zasloužil se o šíření dobrého jména českého podzemního stavitelství v zahraničí a svůj vliv využil také pro získání pořadatelského úspěšného světového tunelářského kongresu WTC 2007 v Praze.

Ing. Hess ukončil svou činnost ve funkci předsedy CzTA ITA-AITES na základě svého vlastního rozhodnutí k 31. prosinci 2003. Asociace jeho zásluhy ocenila v roce 2004 udělením čestného členství a později i předáním pamětní medaile.

Ještě je vhodné dodat, že Ing. Hess zastával i řadu dalších významných funkcí. Byl mj. místopředsedou Hospodářské komory hl. m. Prahy, členem vědecké rady Stavební fakulty ČVUT a členem Správní rady ČVUT a vědecké rady Podnikohospodářské fakulty VŠE v Praze.

Jménem předsednictva České tunelářské asociace ITA-AITES i za kolegy z Metrostavu přeji Ing. Hessovi dobré zdraví, nepolevující aktivitu a stále dobré rodinné zázemí.

*Ing. IVAN HRDINA,
předseda CzTA ITA-AITES, z. s.
výrobně-technický ředitel Metrostav a.s.*

winning the organisation of the successful World Tunnel Congress, the WTC 2007 in Prague.

Ing. Hess terminated his work in the position of the chairman of the ITA-AITES CzTA on the basis of his own decision on the 31st December 2003. The association appreciated his credit in 2004 by granting him an honorary membership and, later, by passing a commemorative medal to him.

It is in addition appropriate to add that Ing. Hess held even many important positions. He was, among others, a vice-chairman of the Commercial Chamber of the City of Prague, a member of the of the Management Board of the Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University and a member of the Scientific Council of the Faculty of Business Administration of the University of Economics in Prague.

I wish Ing. Hess, on behalf of the executive board of the ITA-AITES Czech Tunnelling Association and on behalf of colleagues from Metrostav, great health, unflagging activity and a permanently good family background.

*Ing. IVAN HRDINA,
Chairman of the ITA-AITES CzTA,
výrobně-technický ředitel Metrostav a.s.*

K PĚTASEDMDESÁTINÁM ING. MILOSLAVA NOVOTNÉHO ING. MILOSLAV NOVOTNÝ CELEBRATES THE SEVENTY FIFTH BIRTHDAY

Čas neúprosně běží a tak se mezi významné a nám blízké letošní pětasedmdesátníky zařadil i Ing. Miloslav Novotný, který byl od 1. 1. 2005 do 31. 12. 2013 generálním sekretářem naší asociace. Jeho profesní život i působení v asociaci jsem podrobně připomněl před pěti lety v čísle časopisu Tunel 2/2010, kdy přítel Míla dovršil první sedmdesátku svého života. Těch pět let od té doby uteklo až příliš rychle, mnoho věcí se změnilo, cenné přátelství nikoliv.

Dovolím si připomenout některá významná data a údaje z jubilatova života. Ing. Novotný se narodil 5. 6. 1940 v Praze. V prosinci roku 1962 ukončil studia vodohospodářského směru na Fakultě inženýrského stavitelství ČVUT, již tehdy se zřejmým zaujetím pro nově se rodící obor geotechnika.

V lednu 1964 nastoupil na stavební správu 05 národního podniku Vodní stavby, kde později po řadu let zastával funkci technického náměstka. Zodpovídal za přípravu mnoha náročných staveb – lze jmenovat např. rozvody vody ze Želivky, Vodní dílo Kořensko, novou část přečerpávací vodní elektrárny Štěchovice, depo metra v Hostivaři. Tato složka Vodních staveb měla ve svém programu také výstavbu ražených kanalizačních sběračů v celých Čechách. Jen z Prahy připomínám naše úspěšné společné působení na stoce F v pražské Troji, či na stoce P na Jihozápadním Městě.

Protože Vodní stavby spěly nezadržitelně k zániku, nastoupil Ing. Novotný počátkem roku 2000 do technického úseku divize 5 Metrostavu a.s. Zde se podílel např. na přípravě tunelu Panenská na dálnici D8 nebo tunelů pod Vítkovem, které jsou součástí Nového spojení pražského železničního uzlu.

Dlouholetý zájem o podzemní stavby ho přivedl kolem roku 1980 do nově ustavené Československé tunelářské asociace



Time is unstoppably running and this is why Ing. Miloslav Novotný, who was in the position of the general secretary of our association from 01/01/2005 to 31/12/2013, ranked himself among the important and beloved persons going to celebrate the seventy fifth birthday this year. I commemorated his career and work for the association five years ago in Tunel journal issue No. 2/2010, when my friend Míla accomplished the first seventy-year period of his life. The five years which have passed since that time flew by much too quickly. Many things have changed, with the exception of our precious friendship.

Let me remind you of some important dates and data from the jubilarian's life. Ing. Novotný was born in Prague on 05/06/1940. In December 1962 he graduated from the Czech Technical University in Prague with a degree in civil engineering from the Department of Irrigation, Drainage and Landscape Engineering. His interest in the newly originating branch of geotechnics was obvious already at that time.

In January 1964, he entered the civil engineering department 05 of the national enterprise of Vodní Stavby (water resources projects), where he held the position of the chief technology officer for many years. He was responsible for the planning for many complicated construction projects - I can name the water distribution tunnel from the Želivka waterworks, the Kořensko waterworks, the new Štěchovice pumped storage scheme or the Prague metro depot in Hostivař. This plant of Vodní stavby had, among others, the development of mined sewerage interceptor tunnels in entire Czechia in its programme. If I mention only the projects realised in Prague, I will remember our successful collaboration on the Sewer F in the Prague district of Troja or on the Sewer P in the South-Western Satellite Town.

Because Vodní Stavby, joint stock company, was unstoppably heading for the end, he entered, at the beginning of 2000, the technical department of Division 5 of Metrostav a.s. He participated in the planning for the Panenská tunnels on the D8 motorway or for the New Rail Link project (the Prague railway junction) a part of which were railway tunnels under Vítkov Hill in Prague.

Around 1980, the long-lasting interest in underground structures brought him to the newly established ITA-AITES Czechoslovak

ITA-AITES. V dalších letech se podílel se na všech nejvýznamnějších aktivitách asociace – činnosti v přípravných výborech konferencí i práci v redakční radě časopisu Tunel. K 1. 1. 2005 byl jmenován do funkce generálního sekretáře CzTA ITA-AITES a stal se vedoucím redaktorem našeho časopisu.

Jeho následující osmileté působení na těchto dvou významných postech bylo mimořádně úspěšné a Míla Novotný si získal zasloužené a všeobecné uznání celé tunelářské komunity. Udělení pamětní medaile CzTA bylo symbolickým oceněním jeho obětavé, tmelící práce pro asociaci a jeho zásluh o povznesení časopisu Tunel na kvalitativně vyšší úroveň recenzovaného časopisu. Funkce skončily, neskončil však jubilatův zájem o podporu našich aktivit – opět se účastní práce v přípravném výboru konference PS Praha 2016 a podílí se soustavně na činnosti redakční rady časopisu Tunel.

Jménem všech členů CzTA, redakční rady Tunelu, přátel a kamarádů, které v naší branži našel díky svým lidským i odborným kvalitám, si dovoluji popřát Ing. Novotnému do dalších let především stále zdraví a životní pohodu. Jeho chuť nestát stranou je obdivuhodná, všichni si jí vážíme a děkujeme za ni.

prof. Ing. JIŘÍ BARTÁK, DrSc.

Tunnelling Association. During the subsequent years he participated in all of the most important activities of the association – working in steering committees of conferences and in the Editorial Board of Tunel journal. As of 01/01/2005, he was appointed to the position of the general secretary of the ITA-AITES CzTA and became the chief editor of our journal.

The subsequent eight-year activities in these two important positions were very successful. Míla Novotný gained the deserved and general recognition of the entire tunnel construction community. The award of the CzTA commemorative medal was a symbolic appreciation of his devoted and binding work for the association and his merit for uplifting Tunel journal to a qualitatively higher level of a peer-reviewed journal. His functions have ended, but the jubilarian's interest in supporting our activities have not. He again participates in the work in the steering committee of the conference Underground Construction Prague 2016 and systematically works for the Editorial Board of Tunel journal.

I would like to wish Ing. Novotný, on behalf of all CzTA members, the Editorial Board of Tunel and all friends and mates he found in our line of work owing to his human and professional qualities, to enjoy good health and well-being in the years to come. His inclination not to stand aside is admirable. All of us appreciate it and thank him for it.

prof. Ing. JIŘÍ BARTÁK, DrSc.

Z HISTORIE PODZEMNÍCH STAVEB FROM THE HISTORY OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

MĚSTSKÉ TUNELY URBAN TUNNELS

The term “urban tunnels” is usually used for tunnels constructed in urban areas, today first of all for motor vehicular traffic. They experienced expansion roughly from the end of the 19th and the beginning of the 20th century. Their numbers substantially grows with the development of motoring. In the beginning, when the traffic volume was not great, they had combined functions – they were passed through by carriages, trucks, cars, streetcars and pedestrians. Motor vehicles dominate with the growing quantity of automobiles and the other types of tractions go to ruin – pedestrians were separated last. We will use the following exhibits of historic picture for giving readers an idea of several “urban” tunnels relatively well known, but also completely unknown.



Obr. 1 Budapešť, tunel pod Budou

19. Ganz Antal. Budapest. Kolorovaná fotografie. 1902. [sbírka autorů]

Fig. 1 Budapest, tunnel under the Óbuda district

19. Ganz Antal. Budapest. Coloured picture. 1902. [authors' collection]

ÚVOD

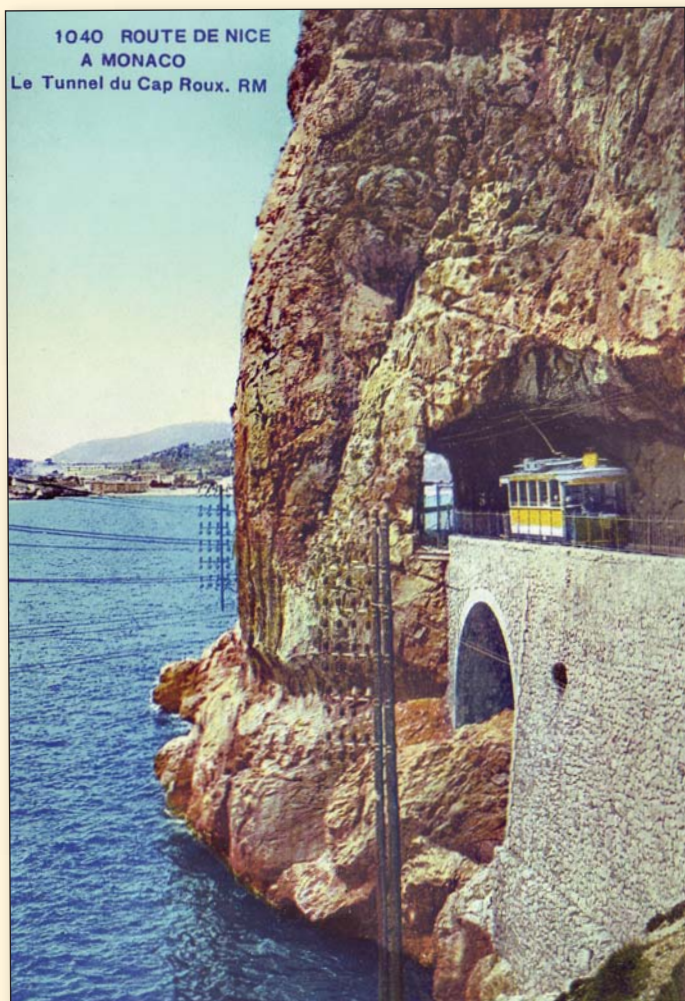
Za „městské“ bývají obvykle označovány tunely zřizované v intravilánu, dnes především pro provoz motorových vozidel. Rozšíření zaznamenaly zhruba od konce 19., resp. počátku 20. století. Jejich počet zásadně vzrůstá s rozvojem automobilismu. V počátcích, kdy se nejednalo o vysokou dopravní zátěž, mívaly přirozeně sdruženou funkci – projížděly jimi povozy, automobily, městská dráha, procházeli pěší. Se vzrůstajícím množstvím automobilů posléze motorová vozidla dominují a ostatní typy trakcí berou za své – jako poslední byli vyděleni chodci. Následujícími ukázkami historických pohlednic přiblížíme několik u nás poměrně známých, ale i zcela neznámých „městských“ tunelů.

BUDAPEŠŤ – TUNEL POD BUDÍNSKÝM HRADEM

Maďarsky Budai Váralagút, či jen Alagút (tunel). Jeho východní novoklasicistní portál (obr. 1) je častým námětem pohlednic z Budapešti. Byl postaven anglickým inženýrem Adamem Clarkem v letech 1853 až 1857 (s otevřením pro pěší již roku 1856). Původně byl určen, se dvěma jízdními pruhy a přilehlými chodníky, pro koňské povozy a chodce. Výlohy na stavbu činily 524 000 forintů. Tunel světlé šířky 9,5 m a výšky 10,6 m je 350 m dlouhý. Západní portál byl zničen koncem 2. světové války a posléze obnoven. V roce 1973 bylo ostění sanováno vrstvou 9 cm stříkaného betonu na ocelovou síť a zrušen jeden z chodníků. Vzhledem k současnému vysokému zatížení automobilovou dopravou vznikají značné potíže s větráním tunelu. [1, 2, upraveno]

TUNEL CAP ROUX

Velmi krátký tunel na „Národní silnici“ N98 spojující Nice a Monako (obr. 2). Má, při dvou jízdních pruzích, délku pouze



Obr. 2 Silnice z Nice do Monaka, tunel Cap Roux

Edit d'Art Rostan & Munier, 19. R. Marceau, Nice. Okolo 1920(?). [sbírka autorů]

Pohled do tunelu z východu. Tunelem byla dlouhou dobu vedena tramvaj. Ta byla zrušena v druhé polovině 19. stol.

Fig. 2 The road from Nice to Monaco, Cap Roux Tunnel

Edit d'Art Rostan & Munier, 19. R. Marceau, Nice. Around 1920(?). [authors' collection]

A view from the east down the tunnel. A tram track led through the tunnel for a long time. It was removed in the second half of the 19th century.

22 m. Světlostlou šířku tunelu 7,50 m doplňuje jeden úzký chodník pro pěší (podle skenování z roku 2005 je vnitřní výška až max. 15,60 m a max. šířka cca 9,4 m). Stáří tunelu nelze z přístupných dokumentů [3] zjistit, nicméně lze předpokládat, že bude značné. V roce 2005 byl tunel, původně neobezděný, opatřen vrstvou stříkaného drátkobetonu tl. 0,1 m.

Tunel nese stejné jméno jako jeho mladší a výrazně delší (419 m) sourozenec – dvoukolejný železniční tunel překonávající skalní masiv mysu Roux v jeho bezprostřední blízkosti.

JOKOHAMA – TRAMVAJOVÝ TUNEL

Další názvy tohoto tunelu jsou (patrně) Yamate nebo Sakuramichi. Tunel byl otevřen v roce 1911 (éra Showa) jako tramvajový (obr. 3) pro spojení čtvrtí Ishikawa a Mugita. Provoz tramvají pokračoval s přestávkou způsobenou katastrofálním zemětřesením v roce 1928. Po zemětřesení byl tunel, původně kratší, přestavěn na dnešní délku 268 m se zvětšením průřezného profilu. V roce 1970 byl provoz tramvají ukončen a od té doby je používán automobily.

TERST – TUNEL SCIPIONA DE SANDRINELLIHO

Italsky „Galleria Sandrinelli“ nebo také (podle názvu pahorku, který překonává) „Galleria Montuzza“ (obr. 4, 5). Městský tunel



Obr. 3 Tunel elektrické dráhy, Jokohama

Kolorovaná fotografie. Okolo 1911(?). [sbírka autorů]

Fig. 3 Electric Car Tunnel, Yokohama

Coloured picture. Around 1911(?). [authors' collection]



Obr. 4 Terst, náměstí Goldoni a tunel

Nr. 832 Stabilimento editore Milan Mandlich, Trieste. Kolorovaná fotografie, okolo 1910. [sbírka autorů]

Pozoruhodný, mimořádně strukturovaný, jižní portál tunelu. V pozadí se nachází pahorek Montuzza s rozlehlým parkem.

Fig. 4 The City of Trieste, Goldoni Square and a tunnel

Nr. 832 Stabilimento editore Milan Mandlich, Trieste. Coloured picture, around 1910. [authors' collection]

A noticeable, exceptionally structured southern portal of the tunnel. Montuzza Hill with a large park can be seen in the background.



Obr. 5 Terst, tunel Montuzza

Stabilimento editore Milan Mandlich, Trieste. Kolorovaná fotografie, okolo 1910. [sbírka autorů]

Severní portál tunelu.

Fig. 5 The City of Trieste, Mantuzza tunnel

Stabilimento editore Milan Mandlich, Trieste. Coloured picture, around 1910. [authors' collection]

Northern tunnel portal.



Obr. 6 10283 Selby Hill tunnel, St. Paul, Minnesota

Made in Germany. A. G. Bosselman & Co., New York. Kolorovaná fotografie, 1911. [sbírka autorů]

Západní portál tunelu. Původní železný plot z roku 1907 lemuující po obou stranách tramvajové těleso je dodnes částečně zachován.

Fig. 6 Selby Hill Tunnel, St. Paul, Minnesota

Made in Germany. A. G. Bosselman & Co., New York. Coloured picture, 1911. [authors' collection]

Western tunnel portal. Original steel fence from 1907 bordering the tram track along both sides has been partially preserved till now.

v Terstu spojuje Via Silvio Pellico a Piazza del Sansovino (dříve Goldoni). Jeho výstavba probíhala mezi lety 1905 až 1907 a je dlouhý 347 m. Během 2. světové války sloužil jako protiletectký kryt. Tramvajová doprava byla tunelem vedena do roku 1970, provoz trolejbusů byl ukončen roku 1975. [4, 5, upraveno]

ST. PAUL – TUNEL SELBY HILL

Tramvajový dvoukolejný tunel v St. Paul (obr. 6), tvořícím s Minneapolis dvojměstí na řece Mississippi. Byl postaven



Obr. 8 Antverpy – tunel pro automobily

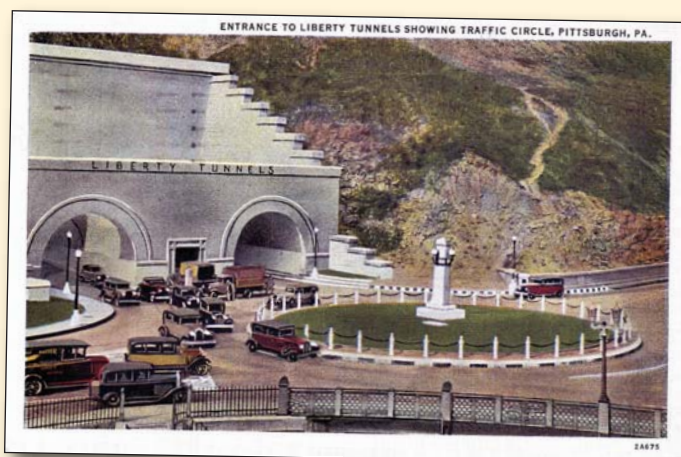
Edition R. Van Loo. Anvers. 159. 1944. [sbírka autorů]

Sdělení na rubu pohlednice je datováno 4. 9. 1944. Implicitně je z něj cítit těžká válečná doba; v závěru je pak narážka na bombardování. Tunel, navržený na průjezd 1000 vozidel/hod/směr je na pohlednici, až na jeden projíždějící automobil a postávajícího policistu, prázdný. I to výmluvně dokumentuje období závěru 2. světové války, s nouzí o pohonné hmoty a potažmo i o automobily.

Fig. 8 Antwerp – vehicular tunnel

Edition R. Van Loo. Anvers. 159. 1944. [authors' collection]

The note on the reverse side of the picture card is dated 04/09/1944. The difficult wartime can be implicitly felt from it. In the conclusion there is an indication of bombing. The tunnel designed for the passage of 1000 vehicles/hour/direction in the picture is empty, with the exception of one vehicle and a policeman hanging around. This is one of the telling documents of the period of the end of World War 2 characterised by the lack of fuels and even automobiles.



Obr. 7 Vstup do Liberty tunelů s kruhovým objezdem, Pittsburgh, Pennsylvania, Pittsburgh podporuje pokrok

The Union News co. Kolorovaná fotografie, 1936. [sbírka autorů]

Severní tunelové portály.

Fig. 7 Entrance to the Liberty tunnels with a traffic circle, Pittsburgh, PA., Pittsburgh promotes progress

The Union News co. Coloured picture, 1936. [authors' collection]

Northern tunnel portals.

v letech 1906 až 1907 pro překonání výrazného pahorku Selby Hill s katedrálou sv. Pavla. Tunel měl délku cca 460 m.

Provoz tramvaje ustal počátkem roku 1950 (1953?) a v roce 1959 byl tunel stavebně uzavřen. Nicméně až do roku 1980 zůstával do jisté míry přístupný a stal se tak útočištěm bezdomovců. [6, 7, upraveno]

PITTSBURGH – TUNELY LIBERTY

„Tunely svobody“ se nacházejí v Pittsburghu. Jde o dvojici tunelů (obr. 7) spojující předměstí South Hills s centrem města přes pahorek Mt. Washington. Jejich délka činí 1795 m, světlá výška 4,42 m (rozměry výrubu dosahovaly: š. 8,7 m a v. 6,32 m). Každá z tunelových trub je vybavena dvěma jízdními pruhy. Stavba byla zahájena 11. 5. 1922 a dokončena v lednu 1924. Náklady činily 6 mil. US \$ (dnešní ekvivalent 82,6 mil. \$). Tunel byl pro automobilový provoz otevřen bez funkčního větrání. To vedlo ke značným komplikacím, které byly řešeny regulací počtu projíždějících vozidel. Až v roce 1928 byly dokončeny čtyři 60m větrací šachty, vybavené výdechovými komíny vysokými 34 m.

V době dokončení se jednalo o nejdelší tunel pro automobily na světě. V roce 1932 byl zakázán vjezd koňských povozů, v roce 1941 byl poprvé na světě zajištěn v tunelu příjem rozhlasu AM, od roku 1987 je zaručen mobilní telefonní signál. V roce 1975 byla provedena rozsáhlá oprava obezdívky s jejím rozšířením o jednu stopu. [8, upraveno]

ANTVERPY – WAASLAND TUNEL

Waasland automobilový tunel v Antverpách pod řekou Šeldou lze také zařadit mezi ty, které jsou vedeny pod vodou (viz předchozí číslo časopisu Tunel). Místním obyvatelům je známý rovněž jako „Malý tunel“ nebo lakonicky „Králičí díra“.

Stavba byla zahájena 1. 3. 1931 a slavnostně otevřena, za účasti krále Alberta I., 10. 9. 1933. Tunel se nachází cca 27 m pod hladinou řeky. Jeho celková délka se uvádí 2110,85 m, od portálu k portálu 1768,85 m, vnější Ø 9,40 m, vnitřní šířka 8,70 m a šířka dvou pruhů vozovky 6,75 m s úzkým chodníkem po straně (obr. 8). Stavební metodou bylo štítování otevřeným štítem s výztuží litinovými tubingy. Náklady na stavbu činily 240 mil. BEF.

V roce 1944 byly ustupující německou armádou zničeny oba portály a tunel byl zaplaven vodou. To si v následujících mírových letech vynutilo rozsáhlou opravu.

Jedná se o nejstarší tunel pod Šeldou a druhý nejdelší v Belgii. [9, upraveno]

N. Y. – LINCOLNŮV TUNEL

Lincolnův tunel (obr. 9) je rovněž, stejně jako předešlá stavba, veden pod vodou (viz předchozí číslo časopisu Tunel). Překonává řeku Hudson mezi N. Y. a New Jersey. Stavba byla zahájena bezprostředně po dokončení Hollandova tunelu. Nesl původně název Midtown Hudson Tunnel (či Vehicular Tunnel), až později byl připsán velkému prezidentovi.

Výstavba byla prováděna nasazením pneumatického štítu, místy i nasazením trhavin, s obezdívkou z ocelolitových tubingů. Původní návrh předpokládal jen dvě trouby. První z nich (dl. 2504 m, dnešní střední) byla uvedena do provozu 22. 12. 1937. Její stavba byla financována programem New Deal, s náklady 85 mil. US \$ (dnešní ekvivalent 1,5 mld. \$). Práce na druhé troubě (dl. 2281 m, dnes severní) byla v roce 1938 zastavena a pokračovala až roku 1941. Dokončení bylo vzhledem k válečnému nedostatku opožděno o dva roky, s otevřením 1. 2. 1945. Výrazné zvýšení množství projíždějících automobilů vedlo posléze k výstavbě třetí trouby (dl. 2440 m, dnes jižní). Ta byla uvedena do provozu 25. 5. 1957.

Světlá šířka tunelů činí 6,55 m a výška 3,96 m. Vnější Ø ražby byl 9,45 m a max. hloubka nivelety vozovky pod střední hladinou vody v řece se uvádí 29,57 m.

V roce 2013 projelo tunelem celkem 18 745 951 vozidel. V době otevření prvního tunelu bylo mýtné 0,50 US \$ (dnešní ekvivalent 8,2 \$), v prosinci roku 2014 činilo již 14 US \$. [10, upraveno]

ZÁVĚR

Tentokrát je příspěvek věnován pohlednicím s „městskými“ tunely. Opět se jedná o zajímavý segment tunelového stavitelství, se kterým se i v ČR, zvláště ve velkých městech (Praha, Brno...), setkáváme čím dál častěji. Z uvedených tunelů se jeví



Obr. 9 Vstup do Lincolnova tunelu, vstup v New Jersey do jediného světového třítrobového automobilového tunelu

Copyright 1962 – the Scheller Co., Hackettstown, N. J. – 425.1670. 1962. [sbírka autorů]

Pohled na komplex západního tunelového přístupu.

Fig. 9 Lincoln Tunnel Entrance. New Jersey's entrance to the world's only triple-tube vehicular tunnel.

Copyright 1962 – the Scheller Co., Hackettstown, N. J. – 425.1670. 1962. [authors' collection]

A view of the complex of the western tunnel access.

mimořádně atraktivní ty starší, o kterých je však současně málo až velmi málo přístupných informací.

**doc. Ing. VLADISLAV HORÁK, CSc.,
Ing. RICHARD SVOBODA, Ph.D.,
Ing. TOMÁŠ VRÁNA**

Poděkování: Příspěvek byl vypracován s finanční pomocí EU „OP Výzkum a vývoj pro inovace“, projekt reg. č. CZ.1.05/2.1.00/03.0097, v rámci činnosti regionálního centra AdMaS „Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie“ a programu Centra kompetence Technologické agentury České republiky (TACR) v rámci projektu Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI), číslo projektu TE01020168.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Budai Váralagút [online]. 2015 [cit. 2015-3-20]. Dostupné na internetu <http://hu.wikipedia.org/wiki/Budai_V%C3%A1ralag%C3%BA>
- [2] Buda Váralagút [online]. 2015 [cit. 2015-3-20]. Dostupné na internetu <http://translate.google.cz/translate?hl=cs&sl=hu&u=http://hu.wikipedia.org/wiki/Budai_V%25C3%25A1ralag%25C3%25B>
- [3] Tous les tunnels routiers (départements 01 à 06) [online]. 2014 [cit. 2015-3-20]. Dostupné na internetu <http://lestunnels.free.fr/tunnels_tous_jcades01a06.htm>
- [4] Trieste sotteranea [online]. 2015 [cit. 2015-3-20]. Dostupné na internetu <http://www.triestesotteranea.it/dicono_di_noi_03.html>
- [5] Metropolis. Comuni d'Italia [online]. 2015 [cit. 2015-3-20]. Dostupné na internetu <<http://www.metropolis.it/comuni/storia.asp?LUNG=6000&pag=2&ID=32006>>
- [6] Life On Selby Hill [online]. 2015 [cit. 2015-3-20]. Dostupné na internetu <<https://saintpaulbybike.wordpress.com/tag/selby-avenue-streetcar-tunnel/>>
- [7] The Rise of the Selby Avenue Streetcar Line [online]. 2015 [cit. 2015-3-20]. Dostupné na internetu <<http://forgottenminnesota.com/2011/08/the-rise-of-the-selby-avenue-streetcar-line/>>
- [8] Liberty Tunnel [online]. 2015 [cit. 2015-3-20]. Dostupné na internetu <http://translate.google.cz/translate?hl=cs&sl=en&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Liberty_Tunnel&prev=search>
- [9] Waasland Tunnel. 2015 [cit. 2015-3-20]. Dostupné na internetu <<http://translate.google.cz/translate?hl=cs&sl=nl&u=http://nl.wikipedia.org/wiki/Waaslandtunnel&prev=search>>
- [10] Lincoln Tunnel [online]. 2015 [cit. 2015-3-20]. Dostupné na internetu <http://translate.google.cz/translate?hl=cs&sl=en&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Lincoln_Tunnel&prev=search>

ZPRÁVODAJSTVÍ ČESKÉ A SLOVENSKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE ITA-AITES CZECH AND SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES REPORT

www.ita-aites.cz

www.sta-ita-aites.sk

KONFERENCE PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2016

CONFERENCE UNDERGROUND CONSTRUCTION PRAGUE 2016

I nadále probíhala intenzivní příprava 13. ročníku mezinárodní konference *Podzemní stavby Praha 2016*. Na jednání přípravného výboru a vědecké rady byla odsouhlasena výše vložného a sponzorských poplatků (vše zůstává totožné jako v roce 2013) a rozdělení konference do jednotlivých sekcí (celkem 8). Na základě předchozích jednání byla získána podpora Mezinárodní společnosti pro mechaniku zemin a geotechnické inženýrství (ISSMGE) a Rakouské společnosti pro Geomechaniku (OeGG). Bylo připraveno 1. oznámení, které bylo společně s žádostí o přihlášení abstraktu zasláno všem účastníkům předchozích dvou ročníků konference, WTC 2007 a jednotlivým národním organizacím ITA-AITES. Abstrakty je možné přihlásit do **30. 9. 2015** prostřednictvím webových stránek konference www.psp Praha.cz, kde naleznete i všechny další informace o konferenci.

Pečlivou přípravou se snažíme o to, aby i nadcházející ročník konference byl stejně úspěšný jako ty předcházející. Z řad členů CzTA rádi uvítáme veškeré podněty, které přispějí ke zlepšení její technické i společenské úrovně.

*Ing. ALEXANDR BUTOVIČ, Ph.D.,
alexandr.butovic@satra.cz
předseda přípravného výboru
konference PS Praha 2016*

The intense preparation of the 13th international conference *Underground Construction Prague 2016* has continued. The amounts of registration fees and sponsorship charges (everything remains identical with the amounts applied in 2013) and the division of the conference into individual sections (8 in total) were agreed during the meeting of the Steering Committee. The support of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE) and the Austrian Society for Geomechanics (OeGG) was obtained on the basis of preceding negotiations. The Announcement No. 1 was prepared and was sent to all participants in the previous two conference events, the WTC 2007 and individual ITA-AITES national organisations, together with a request for the registration of abstracts. Abstracts can be registered by **30/09/2015** through conference web pages www.ucprague.com, where you can find all other information on the conference.

By meticulous preparation we strive for the oncoming conference event to be as successful as the previous conference events. We will be grateful for all suggestions which will contribute to the improvement of its technical and societal level.

*Ing. ALEXANDR BUTOVIČ, Ph.D.,
alexandr.butovic@satra.cz
Chairman of the UC Prague 2016
Conference Steering Committee*

PRÍPRAVA KONFERENCIE TUNELY A PODZEMNÉ STAVBY 2015, 11.–13.11.2015 ŽILINA

PREPARATION OF THE CONFERENCE TUNNELS AND UNDERGROUND CONSTRUCTION 2015

11TH –13TH NOVEMBER 2015, ŽILINA

Slovenská tunelárska asociácia v spolupráci s Českou tunelářskou asociací intenzívně pracuje na přípravě konference *Tunely a podzemné stavby 2015*, ktorá sa bude konať v dňoch 11.–13. novembra 2015 v Žiline.

V uplynulých mesiacoch bolo prihlásených niekoľko desiatok abstraktov budúcich prezentácií, ktoré budú napĺňať ciele konferencie, a to najmä informovať širokú odbornú verejnosť o aktuálnom dianí v oblasti plánovania, realizovania a prevádzkovania podzemných stavieb. Na všetkých siedmich tuneloch v žilinskom regióne v súčasnosti už prebiehajú raziace práce. Účastníci konferencie budú mať tak možnosť v rámci odborných exkurzií porovnať rôzne prístupy k výstavbe tunelov priamo počas realizácie.

Všetky potřebné informace o konferenci nájde na www.tps2015.sk, kde nájde aj všetky informácie týkajúce sa spracovania príspevkov a prezentácií, k registrácií účastníkov a možnostiam exkurzií na aktuálne realizované tunelové stavby.

Tešíme sa na vašu účasť na konferencii a na stretnutie v Žiline.

*Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ,
predseda Slovenskej tunelárskej asociácie,
Ing. VIKTÓRIA CHOMOVÁ,
predsedníčka prípravného výboru konferencie*

The Slovak Tunnelling Association in collaboration with the Czech Tunnelling Association are intensely working on the preparation of the conference *Tunnels and Underground Structures 2015*, which will be held in Žilina from the 11th through to 13th November 2015.

Several tens of abstracts of future presentations were registered during the past months. They will meet the conference objectives, first and foremost, to inform the wide professional public about the current events in the area of planning, realisation and operation of underground structures.

Tunnel driving operations are at present underway in all of the seven tunnels. Conference participants will therefore have the opportunity to compare various approaches to the construction of tunnels directly during the course of the work, within the framework of technical excursions.

All necessary information on the conference is available on www.tps2015.sk, where you can also find all information concerning the preparation of papers and presentations, the registration of participants and options of excursions to tunnel constructions currently underway. We are looking forward to your presence at the conference and to meeting you in Žilina.

*Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ,
Chairman of the Slovak Tunnelling Association
Ing. VIKTÓRIA CHOMOVÁ,
Chairman of the conference Steering Committee*



13. MEZINÁRODNÍ KONFERENCE / 13TH INTERNATIONAL CONFERENCE
PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2016 / UNDERGROUND CONSTRUCTION PRAGUE 2016
3. VÝCHODOEVROPSKÁ TUNELÁŘSKÁ KONFERENCE / 3RD EASTERN EUROPEAN TUNELLING CONFERENCE
EETC 2016
23.–25. KVĚTNA 2016 | PRAHA, ČESKÁ REPUBLIKA / 23–25 MAY 2016 | PRAGUE, CZECH REPUBLIC



www.ps2016.cz
ps2016@guarant.cz



TUNELY A PODZEMNÉ STAVBY 2015
TUNNELS AND UNDERGROUND CONSTRUCTION 2015

Konferencia s medzinárodnou účasťou / Conference with International Attendance
11.–13. 11. 2015, hotel Holiday Inn, Žilina
www.tps2015.sk, tps2015@guarant.sk





Začínali jsme společně We Began Together

Metrostav a pražská podzemní dráha. Patří k sobě již 44 let. Jejich symbióza přináší obyvatelům i návštěvníkům hlavního města užitek i estetický zážitek. Důkaz – nová část trasy A, otevřená 6. dubna 2015.

Metrostav and the Prague Metro. Together for 44 years. A symbiosis that provides the inhabitants of and visitors to the Czech capital with both a useful service and an esthetic experience. Case in point – a new section of the A Line opened on April 6, 2015.

- 1/ Stanice metra Petřiny ve výstavbě Petřín Station during construction
- 2/ Traťový tunel ražený strojem TBM Subway tunnel bored by a tunnel-boring machine
- 3/ Společná prorážka štítů Adéla a Tonda Adéla and Tonda boring shields in joint action
- 4/ Dokončená stanice Petřiny Petřín Station after completion