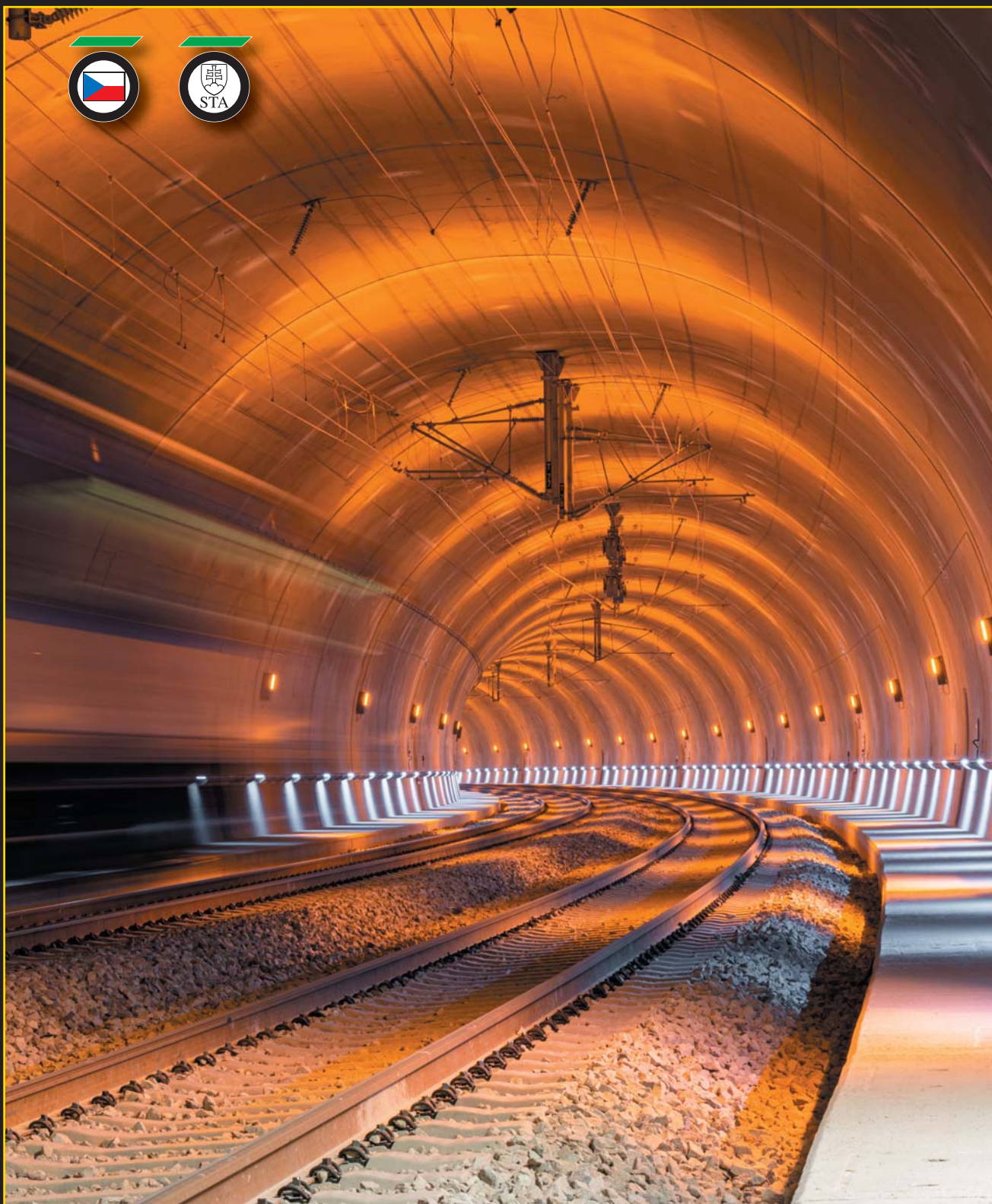


Tu nel

č. 2
2022

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

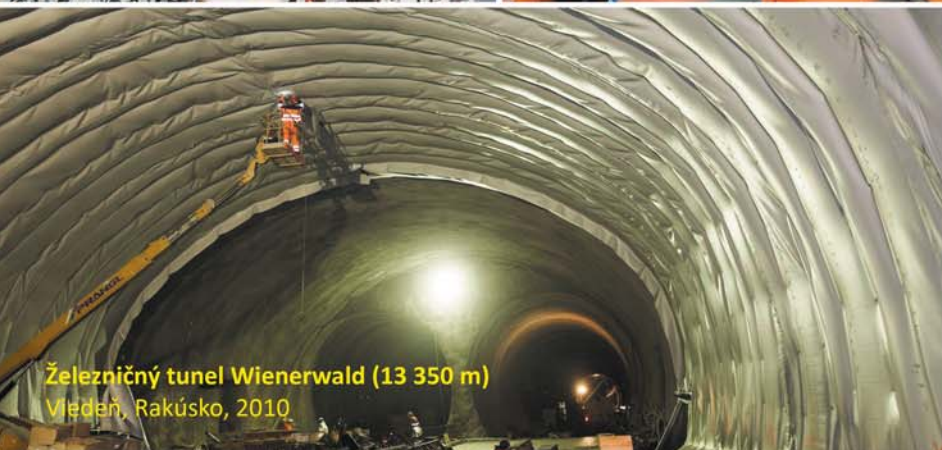




Intelligent building
connects people.

powered by **PORR**

- ▶ Komplexné služby v stavebníctve
- ▶ História spoločnosti siaha do roku 1869
- ▶ Hlavným portfóliom inžinierske stavby a občianska vybavenosť
- ▶ Nadnárodná spoločnosť pôsobiaca vo viacerých krajinách sveta
- ▶ Na slovenskom trhu od roku 1991



PORR
porr.sk

PORR s.r.o.,
Mlynské Nivy 49,
821 09 Bratislava
T: +421 (2) 5810 7001, E: office@porr.sk

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

Obsah

Editorial:	
Ing. Soňa Masarovičová, Ph.D., členka redakční rady	1
Úvodník:	
Ing. Pavel Zuzula, konateľ PORR s.r.o. a člen predstavenstva PORR a.s.	2
prof. Ing. Jiří Máca, CSc., děkan Fakulty stavební ČVUT v Praze	3
Tunel Šwinoujscie – obtiaže súvisiace s geotechnickými podmienkami pri využití bentonitového štítu	
Dipl.-Ing. Arthur Göbl, PORR Bau GmbH, Ing. Lubica Pištanská, PORR s.r.o.	4
Súčasná výstavba metra vo Viedni – výzvy súvisiace s výstavbou podzemnej dráhy v mestách	
Dipl.-Ing. Harald Glösl, PORR Bau GmbH, Ing. Lubica Pištanská, PORR s.r.o.	11
Prečerpávacía stanica Musameer s odtokovým tunelom – využitie metódy BIM pri realizácii veľkých projektov	
Ing. Pavel Zuzula, Ing. Lubica Pištanská, PORR s.r.o.	19
Významné zmeny v nadloží historických Vinohradských tunelů	
prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., FSv ČVUT v Praze	26
Odezva horninového masivu při použití ekvivalentních podmínek porušení v analýze MKP	
Ing. Tereza Žalská, prof. Ing. Michal Šejnoha Ph.D., FSv ČVUT v Praze	34
Analýza z diagnostických dat řídicích systémů tunelových staveb	
Ing. Jiří Štefan, ELTODO, a.s., doc. Ing. Tomáš Tichý, Ph.D., MBA, Ing. Jiří Brož, MSc., FD ČVUT v Praze	42
Fotoreportáž ze slavnostního zahájení stavby metra D, úsek LD1A Pankrác – Olbrachtova dne 21. dubna 2022	49
Fortoreportáž z poslední prorážky na tunelu Kramer, Německo	50
Ze světa podzemních staveb	54
Zprávy z tunelářských konferencí	55
Aktuality z podzemních staveb v České a Slovenské republice	57
Z historie podzemních staveb	62
Výročí	66
Rozloučení	70

Redakční rada / Editorial Board

Čeští a slovenští členové / Czech and Slovak members

Předseda / Chairman: Ing. Boris Šebesta
Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D. – GEOTest, a.s.
Ing. Miloslav Frankovský – STA
Ing. Jan Frantl – Subterra a.s.
Bc. MSc. Michal Froněk CEng., MICE, DIC – Správa železnic s.o.
prof. Ing. Matouš Hilar, MSc., Ph.D., CEng., MICE – 3G Consulting Engineers s.r.o.
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc. – Fakulta stavební VUT v Brně
Ing. Vlastimil Horák – Amberg Engineering Brno, a.s.
doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D. – VŠB-TU Ostrava
RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D. – PUDIS a.s.
Ing. Viktória Chomová – STA
Ing. Otakar Krásný – GeoTec-GS, a.s.
Ing. Ján Kušnír – STA
Ing. Libor Mařík – SAGASTA s.r.o.
Ing. Soňa Masarovičová, Ph.D. – ŽU, Stavební fakulta
Ing. Miroslav Novák – METROPROJEKT Praha a. s.
doc. Dr. Ing. Jan Pruška – Stavební fakulta ČVUT v Praze
Ing. Pavel Růžička, Ph.D. – HOCHTIEF CZ a. s.
Ing. Michal Šerák – Inženýring dopravních staveb a.s.

Vydavatel

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

Distribuce

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

Redakce

Koželužská 2450/4, 180 00 Praha 8 – Libeň, tel.: +420 702 062 610
e-mail: pruskova@ita-aites.cz
web: http://www.ita-aites.cz
Vedoucí redaktor: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.
Odborní redaktoři: prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., doc. Ing. Dr. Jan Pruška,
Ing. Pavel Šourek, RNDr., Radovan Chmelař, Ph.D.,
Ing. Miloslav Frankovský
Grafické zpracování: Ing. Jiří Šilar DTP, Na Záměšli 502/3, 150 00 Praha 5
Tisk: SERIFA, s.r.o., Jionická 804/80, 158 00 Praha 5
Foto na obálce: Průjezd vlaku tunelem Mílochov, realizovaným v rámci stavby „Modernizace trati Püchov–Žilina“, 12/2021, zhotovitel tunelu Subterra a.s. (foto archiv Subterra a.s.)

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

Contents

Editorials:	
Ing. Soňa Masarovičová, Ph.D., Member of the Editorial Board	1
Ing. Pavel Zuzula, Managing Director PORR s.r.o., Member of Board PORR a.s.	2
Prof. Ing. Jiří Máca, CSc., Dean of the Faculty of Civil Engineering of the CTU in Prague	3
Šwinoujscie Tunnel – Difficulties Related to Geotechnical Conditions when Using a Slurry Shield	
Dipl.-Ing. Arthur Göbl, PORR Bau GmbH, Ing. Lubica Pištanská, PORR s.r.o.	4
Vienna Metro Current Construction – Challenges of Metro Construction in Urban Areas	
Dipl.-Ing. Harald Glösl, PORR Bau GmbH, Ing. Lubica Pištanská, PORR s.r.o.	11
Musameer Pumping Station with Outfall Tunnel – Use of the BIM Method during the Construction of Large Projects	
Ing. Pavel Zuzula, Ing. Lubica Pištanská, PORR s.r.o.	19
Significant Changes in the Overburden of Historic Vinohrady Tunnels	
Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., CTU in Prague, Faculty of Civil Engineering	26
Rock Mass Response using Equivalent Failure Criteria in FEM Analysis	
Ing. Tereza Žalská, prof. Ing. Michal Šejnoha Ph.D., CTU in Prague, Faculty of Civil Engineering	34
Analysis of Diagnostic Data of Tunnel Structures Control Systems	
Ing. Jiří Štefan, ELTODO, a.s., doc. Ing. Tomáš Tichý, Ph.D., MBA, Ing. Jiří Brož, MSc., CTU in Prague, Faculty of Transportation Sciences	42
Picture Report from Ceremonial Commencement of Construction of Metro D, LD1A Pankrác – Olbrachtova Section on 21 April 2022	49
Picture Report from the Last Breakthrough on Kramer Tunnel, Germany	50
The World of Underground Constructions	54
News from Tunnelling Conferences	55
Current News from the Czech and Slovak Underground Constructions	57
From the History of Underground Constructions	62
Anniversaries	66
Last Farewell	70

doc. Ing. Richard Šňupárek, CSc. – Ústav geoniky AV ČR, v.v.i.
Ing. Jiří Šach – Metrostav a.s.
Ing. Pavel Šourek – SATRA, spol. s r.o.
Ing. Václav Veselý – Terresta a.s.
Ing. Jaromír Zlámal – POHL cz, a.s.
CzTA ITA-AITES: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.

Zahraníční členové / International members

Prof. Georg Anagnostou – ETH Zürich, Switzerland
Dr. Nick Barton – NICK BARTON & ASSOCIATES, Norway
Prof. Adam Bezuijen – GHENT UNIVERSITY, Belgium
Prof. Tarcisio B. Celestino – UNIVERSITY OF SAO PAULO, Brazil
Dr. Vojtech Gall – GALL ZEIDLER CONSULTANTS, USA
Prof. Dimitrios Kolymbas – UNIVERSITY OF INNSBRUCK, Austria
Prof. In-Mo Lee – KOREA UNIVERSITY, South Korea
Prof. Daniele Peila – POLITECNICO DI TORINO, Torino, Italy
Prof. Wulf Schubert – GRAZ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Austria
Prof. Walter Wittke – WBI GmbH, Germany

Published for service use

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

Distribution

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

Office

Koželužská 2450/4, 180 00 Praha 8 – Libeň, phone: +420 702 062 610
e-mail: pruskova@ita-aites.cz
web: http://www.ita-aites.cz
Editor-in-chief: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.
Technical editors: prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., doc. Dr. Ing. Jan Pruška,
Ing. Pavel Šourek, RNDr., Radovan Chmelař, Ph.D.,
Ing. Miloslav Frankovský
Graphic designs: Ing. Jiří Šilar DTP, Na Záměšli 502/3, 150 00 Praha 5
Printed: SERIFA, s.r.o., Jionická 804/80, 158 00 Praha 5
Cover photo: Passage of a train through the Mílochov Tunnel, realized within the construction „Modernization of the Püchov–Žilina line“, 12/2021, tunnel contractor Subterra a.s. (photo archiv Subterra a.s.)

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

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

ČZTA:

Čestní členové:

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

Členské organizace:

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

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

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

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

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

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

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

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

Fakulta dopravní ČVUT v Praze
Konviktská 20
110 00 Praha 1

Fakulta stavební ČVUT v Praze
Thákurova 7
166 29 Praha 6

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR
Čerčanská 12
140 00 Praha 4

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

SATRA, spol. s r.o.
Pod pekárnami 878/2
190 00 Praha 9 – Vysočany

SG Geotechnika a.s.
Geologická 4/988
152 00 Praha 5

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

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

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

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

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

UNIVERZITA PARDUBICE
Dopravní fakulta Jana Pernera
Studentská 95
532 10 Pardubice

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

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

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

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

STA:

Čestní členovia:

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

Členské organizácie:

Alfa 04 a.s.
Jašíkova 6
821 07 Bratislava

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

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

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

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

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

Doprastav, a.s.
Drieňová 27
826 56 Bratislava

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

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

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

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

GEOSTATIK a.s.
Kragujevská 11
010 01 Žilina

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Reming Consult a.s.
Trnavská 27
831 04 Bratislava

Renesco a.s.
Panenská 13
811 03 Bratislava

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

Skanska SK a.s.
Krajná 29
821 04 Bratislava

Slovenská správa ciest
Miletičova 19
826 19 Bratislava

SLOVENSKE TUNELY a.s.
Lamačská cesta 99
841 03 Bratislava

Spel SK spol. s r.o.
Františkánska 5
917 01 Trnava

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

STRABAG s.r.o.
Mlynské nivy 4963/56
821 05 Bratislava

STU, Stavebná fakulta
Katedra geotechniky
Radlinského 11
813 68 Bratislava

TAROSI c.e., s.r.o.
Madáčova 33
821 06 Bratislava

TECHNICKÁ UNIVERZITA
Fakulta BERG

Katedra dobývania ložísk a geotechniky
Katedra geotech. a doprav. staviteľstva
Letná ul. 9

042 00 Košice

TUBAU, a.s.
Pribylinská 12
831 04 Bratislava

TuCon, a.s.
K Cintorínu 63
010 04 Žilina – Bánová

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

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

Ústav geotechniky SAV
Watsonova 45
043 53 Košice

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

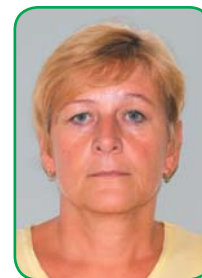
VUIS – Zakladanie stavieb, spol. s r.o.
Kopčianska 82/c
851 01 Bratislava

Železnice SR
Klemensova 8
813 61 Bratislava

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

Vážení čitatelia časopisu Tunel,

dostáva sa vám do rúk druhé tohtoročné vydanie časopisu, ktoré vychádza v zložitých spoločensko-hospodárskych časoch. Na jednej strane sa tešíme z uvoľňovania protipandemických opatrení a na druhej strane máme za hranicami vojnový konflikt, ktorý vyvoláva obavy zo sociálnej a hospodárskej krízy. Nové číslo prináša tri články z praxe od spoločnosti PORR a.s., ktorá je etablovaná na slovenskom trhu od roku 1991. Spoločnosť poskytuje komplexné stavebné služby a realizuje stavebné projekty rôzneho rozsahu pre pozemné staviteľstvo a v oblasti inžinierskych stavieb pre štátnych aj súkromných zákazníkov. Ďalšie tri články sú z akademického prostredia zo Stavebnej fakulty Českého vysokého učenia technického v Prahe.



Prvý článok vás zavedie do Poľska, kde firma PORR a.s. realizuje výstavbu najdlhšej podvodnej komunikácie v Poľsku s dĺžkou 3,2 km. Trasu tvorí 1,4 km dlhý tunel Świnoujście, vedený v nerovnorodých štrkových naplaveninách rieky Świna. Príspevok opisuje úspešnú realizáciu tunela raziacim strojom TBM s bentonitovým štítom (Slurry Shield) od výrobcu CREG. V druhom článku sa pozrieme na to, ako sa popasovali s výstavbou nových liniek metra v husto zastavanom území centra mesta Viedeň. Príspevok sa venuje všetkým potrebným opatreniam, ktoré realizátor vykonáva na monitorovanie a prevenciu negatívnych vplyvov spôsobených razením tunelových rúr. Pri čítaní tretieho článku sa ocitneme v Perzskom zálive. Autor nás oboznámi s využitím metódy BIM pri realizácii projektu Musaimerer Pumping Station & Outfall Tunell (MPSO), ktorý je jedným zo strategických projektov emirátu Katar. Predstavuje tiež riešenie napojenia odvodného tunela a výpustnej šachty difúzneho poľa, ktoré bolo jednou z najväčších výziev pri realizácii.

V článkoch z akademického prostredia profesor Barták opisuje, ako búranie a opätovné postavenie budovy ovplyvňuje obmurovku v historických Vinohradských tuneloch II a III. V ďalšom článku kolektív autorov upozorňuje na riziká a obmedzenia pri použití ekvivalentných parametrov šmykovej pevnosti pri nahradení Hoek-Brownovho kritéria porušenia Mohr-Coulombovým modelom pri riešení chovania horninového masívu pomocou metódy konečných prvkov. Posledný článok tohto čísla sa zaoberá analýzou dát získaných z riadiaceho systému tunelovej stavby pri riadení údržby tunelového systému. V závere časopisu nechýbajú pravidelne sa opakujúce rubriky.

Čitateľom prajem príjemné čítanie časopisu Tunel. Na záver mi dovoľte vysloviť priane, aby sme čoskoro uvideli svetlo na konci tunela zo súčasnej krízy.

*Ing. SOŇA MASAROVICHOVÁ, Ph.D.,
členka redakčnej rady*

Dear Tunel journal readers,

this year's second issue of the journal, which is published in this difficult socio-economic time, is arriving in your hand. On the one hand, we are looking forward to the easing of anti-pandemic measures, and on the other hand, we have a war behind our borders that raises fears of a social and economic crisis. The new issue brings three papers from practice provided by the company of PORR a.s., which has been entrenched on the Slovak market since 1991. The next three papers are from the academic environment of the Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University in Prague.

The first paper will take you to Poland, where the company of PORR a.s. is carrying out the construction of the longest underwater road in Poland with a length of 3.2km. The route consists of the 1.4km long Świnoujście tunnel, which runs in the inhomogeneous gravel alluvium of the Świna River. The paper describes the successful construction of the tunnel using a Slurry Pressure Balance TBM manufactured by CREG. In the second paper, we will look at how tunnellers dealt with the construction of new metro lines in the densely developed area of the Vienna city centre. The paper deals with all the necessary measures that the contractor takes to monitor and prevent the negative effects caused by the excavation of tunnel tubes. Reading the third article, we find ourselves in the Persian Gulf. The author will acquaint us with the use of the BIM method in the construction of the Musaimerer Pumping Station & Outfall Tunnel (MPSO), which is one of the strategic projects of the Emirate of Qatar. It also introduces a solution for the connection of the outlet tunnel and the discharge shaft of a diffusion field, which was one of the biggest challenges in the construction.

In papers from the academic environment, professor Barták describes how the demolition and repeated construction of buildings affects the lining of Tunnels II and III in the historic district of Vinohrady. In the next article, a team of authors draws attention to the risks and limitations of using equivalent shear strength parameters in replacing the Hoek-Brown failure criterion with the Mohr-Coulomb model in solving the behaviour of a rock mass using the finite element method. The last paper of this journal issue deals with the analysis of data obtained from the tunnel construction management system regarding the tunnel maintenance. The regular recurring columns are not missing at the end of the journal.

I wish you, dear readers, pleasant reading of the TUNEL journal. To conclude, let me make a wish that we will soon see the light at the end of the tunnel from the current crisis.

*Ing. SOŇA MASAROVICHOVÁ, Ph.D.,
Member of Editorial Board*



MILÉ ČITATELKY, ČITATELIA,

tunel predstavuje cestu, no často symbolizuje prechod z jednej fázy (života) do druhej. Od môjho návratu na Slovensko a nástupu do vedenia spoločnosti PORR s.r.o. (2019) je mojou misiou stavať na jej silných základoch, posunúť ju do novej fázy a prispieť k progresu českého a slovenského stavebníctva. Z môjho pohľadu stavebníctvo stojí na ľudoch, na trhu je kľúčová agilita, synergia, strategické partnerstvá a otvorená a trpezlivá komunikácia, posun k moderným technológiám, ale aj zmyšľaniu, ekologickej a spoločenskej zodpovednosti. Menej príjemné sú výzvy, ktorým stavebníctvo aktuálne čelí, ako bezprecedentné zvýšenie cien a nedostatok materiálov, situácia na trhu práce a byrokracia.

Spoločnosť nesie meno zakladateľa Arthura Porra už 150 rokov, ktoré je spojené s vývojom Novej rakúskej tunelovacej metódy a v súčasnosti aj s rýchlo sa rozvíjajúcou digitalizáciou v sektore stavebníctva.

V PORRe sme obzvlášť hrdí na náš patent na výstavbu železničných tratí na pevnej jazdnej dráhe, tzv. slab track, ktorý sme vyvinuli v spolupráci s Rakúskymi spolkovými dráhami ÖBB pod názvom „Slab Track Austria“ a prvýkrát ho realizovali už v roku 1989. Okrem dlhých životností táto technológia spĺňa všetky požiadavky stanovené pre vysokorýchlostnú dopravu, takmer bezúdržbovú prevádzku železničnej trati, vysokú mieru zabezpečenia a minimálneho opotrebovania vlakov. Prostredníctvom tejto unikátnej technológie sme napríklad zrealizovali 160 km metra v Katare, ďalšie na projekte Stuttgart 21 úsek C, Koralmbahn, Barking Riverside, alebo projekte tunelov metra v austrálskom Melbourne.

Pokrokové technológie však nie sú všetko. Vďaka integrácii sociálnych a ekologických hľadísk získal PORR v roku 2020 zlatú medailu v hodnotení spoločenskej zodpovednosti firiem (CSR) od agentúry EcoVadis a nedávno tiež najvyššiu známku v medzinárodnom uznávanom ekologickom hodnotení Carbon Disclosure Project (CDP).

Na českom a slovenskom trhu pôsobí PORR už od roku 1991. Medzi najvýznamnejšie projekty nášho pôsobenia na slovenskom trhu je obchvat Bratislavy (D4R7), obchvat Čadce a križovatka Triblavina, ale aj pozemné stavby, ako napríklad administratívno-obchodný komplex Eurovea, sídlo Slovenskej sporiteľne či elektrárň Malženice.

Práve prebiehajúca plynulá výstavba rozšírenia liniek Viedenského metra dokazuje, že naša spoločnosť dokáže efektívnym monitoringom a inovatívnou kompenzačnou injektážou realizovať tunelové stavby aj v husto zastavanom území hlavného mesta, bez ich porušenia. Článok o budovaní najdlhšej podvodnej komunikácií v Poľsku poukazuje na našu schopnosť vybudovať tunel aj vo veľmi nepriaznivých geologických podmienkach. Článok popisujúci výstavbu MPSO (prečerpávací stanica s napojením na odvodný tunel) v katarskej Dohu poukazuje na našu vysokú znalosť výstavby použitím BIM modelu. Aj v Českej republike sme v modeli BIM market lídrom.

Aktuálne v Českej republike realizujeme napríklad rekonštrukciu futbalového štadiónu v Pardubiciach, diaľničný úsek Frýdek-Místek obchvat I. etapa, rekonštrukciu traťového úseku Křižanov – Sklené nad Oslavou a najnovším projektom je oprava najvyťaženejšej tepny Česka – pražského Barandovského mosta. Na Slovensku sme nadviazali strategické partnerstvá s hodnotovo blízkymi spoločnosťami. Vďaka takejto spolupráci máme podiel na realizácii projektu dostavby D1 Lietavská Lúčka – Dubná Skala vrátane tunela Višňové a rýchlostnej cesty R3 Tvrdošín – Nižná. Na základe našich skúseností rozširujeme naše pôsobenie v Čechách a na Slovensku aj o segment tunelov so zameraním hlavne na razenie TBM metódou, v ktorej sme viac ako kompetentní a znalí.

V tomto vydaní časopisu Vám predstavujem inovatívne riešenia mojich kolegov, ktorých skúsenosti vieme veľmi rýchlo použiť aj na našom trhu.

**DEAR READERS, LADIES AND GENTLEMEN**

a tunnel represents a path, but it often symbolises the transition from one phase (of life) to another. Since my return to Slovakia and entry to the management of PORR s.r.o. (2019), my mission has been to build on its strong foundations, move it to a new phase and contribute to the progress of the Czech and Slovak construction industry. In my view, construction depends on people. Synergies, strategic partnerships and open and patient communication, a shift to modern technologies but also thinking, environmental and social responsibility are key abilities on the market. Less pleasant are the challenges currently facing the construction industry, such as unprecedented price increases and a shortage of materials, the labour market situation and bureaucracy.

The company has been named after the founder Arthur Porr for 150 years. It is associated with the development of the New Austrian Tunneling Method and currently with the rapidly developing digitisation in the civil engineering sector.

At PORR, we are particularly proud of our patent for the construction of railways on a rigid track, the so-called slab track, which we developed in cooperation with the Austrian Federal Railways ÖBB under the name „Slab Track Austria“ and applied for the first time in 1989. In addition to its long service life, this technology meets all the requirements set for high-speed transport, almost maintenance-free operation of the railway track, a high level of security and minimum wear and tear on trains. Using this unique technology, we have, for example, built 160km of metro in Qatar; we applied it to the section C of the Stuttgart 21 project, the Koralmbahn railway, Barking Riverside railway or the project for metro tunnels in Melbourne, Australia.

However, advanced technologies are not everything. Thanks to the integration of social and environmental aspects, PORR was awarded a gold medal in corporate social responsibility (CSR) by EcoVadis in 2020 and recently also obtained the highest mark in the internationally recognised environmental assessment Carbon Disclosure Project (CDP).

PORR has been operating on the Czech and Slovak markets since 1991. The most important projects of our operation on the Slovak market are the Bratislava bypass (D4R7), the Čadca bypass and the Triblavina motorway intersection, as well as buildings such as the Eurovea administrative and commercial complex, the seat of Slovenská Sporiteľňa saving bank or the Malženice power plant.

The ongoing continuous construction of the extension of the Vienna metro lines proves that our company is able to carry out tunnel construction in the densely developed area of the capital without causing damage to it through effective monitoring and innovative compensation grouting. The paper on the construction of the longest underwater road in Poland points to our ability to construct a tunnel even in very unfavourable geological conditions. A paper describing the construction of the MPSO (pumped storage station with connection to an outlet tunnel) in Doha, Qatar, highlights our high knowledge of construction using the BIM model. We are also the market leader in the BIM model in the Czech Republic.

Currently in the Czech Republic we are carrying out, for example, the reconstruction of the football stadium in Pardubice, the stage I of the motorway section of the Frýdek-Místek bypass, the reconstruction of the Křižanov – Sklené nad Oslavou track section and the latest project is the repair of the busiest arterial road in the Czech Republic – the Barandov Bridge in Prague. In Slovakia, we have established strategic partnerships with companies close in terms of their value-related attitudes. Thanks to such cooperation, we have a share in the completion of the Lietavská Lúčka – Dubná Skala section of the D1 motorway, including the Višňové tunnel and the R3 Tvrdošín – Nižná high speed highway. Based on our experience, we are expanding our operations in the Czech Republic and

Slovakia to include the tunnel construction segment, focusing mainly on TBM excavation using the method in which we are more than competent and knowledgeable.

In this issue of the journal, I present to you the innovative solutions designed by my colleagues, whose experience we can very quickly use in our market.

ING. PAVEL ZUZULA**konateľ PORR s.r.o./člen predstavenstva PORR a.s.****Managing Director PORR s.r.o./Member of Board PORR a.s.**

VÁŽENÍ ČTENÁŘI, DÁMY A PÁNOVÉ,

Fakulta stavební ČVUT v Praze je škola s více než třísetletou tradicí, která při zachování pevných základů inženýrského řemesla reaguje na trendy moderní společnosti. Ve strukturovaném studiu si zájemci mohou vybrat z řady bakalářských, magisterských a doktorských studijních programů, některé z nich jsou také realizovány v rámci konsorcií významných evropských univerzit. Moderní výukové metody, odpovídající výzkumné zázemí a stabilní tým pedagogů složený z respektovaných odborníků jsou hlavní pilíře, které umožňují přípravu kvalifikovaných odborníků, kteří jsou schopni samostatně řešit náročné odborné a technické otázky široké inženýrské praxe a mají předpoklady úspěšně se uplatnit v odpovědných inženýrských i manažerských funkcích.

Stavebnictví je kreativní odvětví – spojuje teorii a praxi. Vyžaduje tvůrčí myšlení, operativní řešení unikátních problémů. Je nutné jít stále kupředu, inovovat, implementovat nové technologie. To by bez kvalitního výzkumu nebylo možné. Fakulta patří mezi evropskou špičku jak v základním, tak i aplikovaném výzkumu. Máme výborně vybavené laboratoře v oblasti stavebních konstrukcí a materiálů, vodohospodářského inženýrství, unikátním pracovištěm je podzemní laboratoř Štola Josef, máme vlastní hvězdárnu, zajímavé architektonické ateliéry a snažíme se toto zázemí využívat ke vzdělávání studentů, výchově nových vědeckých pracovníků i pro realizaci našich výzkumných projektů.

Partnery fakulty jsou významné stavební firmy, které nabízejí studentům exkurze, stáže či praxi a podporují jejich zahraniční studijní pobyty v rámci programu Erasmus nebo bilaterálních dohod. U našich studentů a absolventů oceňují kombinaci solidního teoretického základu, odborných znalostí a tvůrčích schopností.

Těší mne, že se fakulta stala místem působení řady tvůrčích osobností z mnoha oblastí. Jsem přesvědčen, že záruka jejího budoucího rozvoje je založena na zkušenostech starších, nadšení mladších a na spolupráci akademických pracovníků a studentů.

Fakulta stavební ctí strategické cíle Českého vysokého učení technického v Praze, jehož hlavními záměry je podílet se na rozvoji společnosti a být představitelem vzdělanosti, technického pokroku a umělecké tvořivosti. Naším záměrem je také nadále rozvíjet základní poslání fakulty, charakterizované třemi klíčovými slovy: tradice – kvalita – perspektiva. Jsme excelentní pracoviště s mnohaletou tradicí, která nás zavazuje k tomu, aby kvalita naší pedagogické a tvůrčí činnosti byla co nejvyšší a naši absolventi i zaměstnanci měli jasnou perspektivu svého pracovního uplatnění.

**DEAR READERS, LADIES AND GENTLEMEN,**

The Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University in Prague is a school with a more than 300-year tradition, which, while maintaining a solid foundation of engineering craft, responds to the trends of modern society. In the structured study, those interested can choose from a number of bachelor's, master's and doctoral study programs, some of which are also organised within consortia of major European universities. Modern teaching methods, appropriate research background and a stable team of teachers composed of respected experts are the main pillars that allow the preparation of qualified professionals who are able to independently solve challenging professional and technical issues of wide engineering practice and have the prerequisites for successful acquitting themselves in responsible engineering and managerial positions.

Construction is a creative industry – it combines theory and practice. It requires creative thinking, operative solutions to unique problems. It is necessary to keep moving forward, to innovate and implement new technologies. This would not be possible without quality research. The faculty is one of the European leaders in both basic and applied research. We have excellently-equipped laboratories in the field of building structures and materials, water management engineering; a unique workplace is the underground laboratory Josef gallery. We have our own observatory, interesting architectural studios and we try to use this background to educate students, educate new scientists and implement our research projects.

Faculty partners are major construction companies that offer students excursions, internships or practice and support their study stays abroad within the Erasmus program or bilateral agreements. Our students and graduates are appreciated in terms of the combination of a solid theoretical foundation, professional knowledge and creative abilities.

I am pleased that the faculty has become the site of a number of creative personalities from many fields. I am convinced that the guarantee of its future development is based on the experience of older people, the enthusiasm of younger people and the cooperation of academic staff and students.

The Faculty of Civil Engineering honours the strategic goals of the Czech Technical University in Prague, whose main goals are to participate in the development of society and to be a representative of education, technical progress and artistic creativity. Our intention is also to further develop the basic mission of the faculty, characterised by three key words: tradition – quality – perspective. We are an excellent workplace with a long tradition, which obliges us to ensure that the quality of our pedagogical and creative activities is as high as possible and that our graduates and employees have a clear perspective of their employment.

PROF. ING. JIŘÍ MÁCA, CSC.
děkan Fakulty stavební ČVUT v Praze
Dean of the Faculty of Civil Engineering
of the CTU in Prague

TUNEL ŚWINOUJŚCIE – OBŤIAŽE SÚVISIACE S GEOTECHNICKÝMI PODMIENKAMI PRI VYUŽITÍ BENTONITOVÉHO ŠTÍTU

ŚWINOUJŚCIE TUNNEL – DIFFICULTIES RELATED TO GEOTECHNICAL CONDITIONS WHEN USING A SLURRY SHIELD

ARTHUR GÖBL, LUBICA PIŠŤANSKÁ

ABSTRAKT

Článok popisuje výstavbu najdlhšej cestnej komunikácie vedenej pod vodnou hladinou v Poľsku s dĺžkou 3,2 km. Trasu tvorí tunel dlhý 1,44 km vedený v nerovnorodých štrkových naplaveninách rieky Świna. Popisuje úspešnú realizáciu plnoprofilovým raziacim strojom typu bentonitový štít (Slurry Shield).

ABSTRACT

The paper describes the construction of the longest underwater road in Poland with a length of 3.2km. The route is formed by a 1.44km long tunnel running in the inhomogeneous gravel alluvium of the Świna River. It describes the successful construction of a full-face tunnelling machine of the slurry shield type.

1. ÚVOD

Mesto Świnoujście sa nachádza na 44 ostrovoch, z ktorých sú obývané iba tri – Usedom, Wolin a Karsibor. Prepravu medzi nimi v súčasnosti zabezpečujú trajekty, ktoré vzhľadom na premenlivosť počasia nie sú úplne spoľahlivé. Z tohto dôvodu sa poľská vláda rozhodla pre vybudovanie podzemného prepojenia mesta s pevninou.

Dopravné spojenie bude dlhé približne 3,2 km. Trasa zahŕňa predĺžené rampové konštrukcie na oboch brehoch rieky a 1,44 km dlhý tunel, ktorý povedie pod riekou Świna a spojí ostrovy Usedom a Wolin (obr. 1). Po dokončení bude spojenie najdlhšou komunikáciou vybudovanou pod vodnou hladinou v Poľsku. Jedná sa o jednorúrovňový tunel s obojsmernou prevádzkou.

2. ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE O PROJEKTE

Investorom súčasného projektu je mesto Świnoujście spolu s GDDKiA (Generálne riaditeľstvo pre štátne cesty a diaľnice v Poľsku). Zákazku na výstavbu zadali v roku 2018 konzorciu firm Pörr SA, Pörr Bau/Tunnelbau a Gülermak. Hodnota zákazky je 793 miliónov PLN (približne 175 miliónov EUR). Zmluva o výstavbe je typu „naprojektuj-postav“ (design and build). Základom sú zmluvné podmienky žltej knihy FIDIC s určitými úpravami. Okrem plánovania

1. INTRODUCTION

The city of Świnoujście is located on 44 islands, of which only 3 are inhabited – Usedom, Wolin and Karsibor. Transport between them is currently provided by ferries, which are not completely reliable due to the variability of weather. For this reason, the Polish government decided to build an underground connection between the city and the mainland.

The transport connection will be about 3.2km long. The route includes extended ramp structures on both banks of the river and a 1.44km long tunnel running under the Świna River, which will connect the islands of Usedom and Wolin (see Fig. 1). When completed, the connection will be the longest road built under water in Poland.

2. BASIC INFORMATION ON PROJECT

The owner of the current project is the city of Świnoujście together with GDDKiA (General Directorate for State Roads and Motorways in Poland). The construction contract was awarded in 2018 to a consortium formed by Pörr SA, Pörr Bau/Tunnelbau and Gülermak. The value of the contract is PLN 793 million (approximately EUR 175 million). The construction contract is of the „design-build“ type. The contract is based on the yellow FIDIC book with some modifications. In addition to planning the construction work, the scope of work also includes the preparation of documents for obtaining a building permit for road construction projects (so-called ZRID) and the turnkey handover of not only the construction part, but also the tunnel equipment.

3. TUNNEL EXCAVATION

The interesting thing about the tunnel is that it consists of three parts. Each of these parts was built using a different method. The first



Obr. 1 Trasa 1,44 km dlhého tunela pod riekou Świna
Fig. 1 Route of the 1.44km long tunnel under the Świna River

realizácie zahŕňa rozsah prác aj vypracovanie podkladov k získaniu stavebného povolenia na cestné projekty (tzv. ZRID) a odovzdanie na kľúč nielen stavebnej časti, ale aj technológie tunela.

3. RAZENIE TUNELA

Zaujímavosťou tunela je, že pozostáva z troch častí. Každá z týchto častí bola postavená inou metódou. Prvá časť v dĺžke 475 m bola vybudovaná hĺbením s pomocou podzemných stien, nasledujúcich 295 m bolo vybudovaných hĺbením pod vopred vybudovanou stropnou konštrukciou. Hlavná časť v dĺžke 1,48 km bola vyrazená bentonitovým štítom menom „The Islander“. Raze- nie bolo započaté 5. marca 2021 a ukončené 19. septembra 2021.

Tunel Šwinoujście má vnútorný priemer 12 m, je jednorúrový a má 3,5 m široké jazdné pruhy pre obojsmernú dopravu (obr. 2). Nevyhnutné núdzové výklenky vybavené únikovými schodiskami umožňujú vodičom dostať sa z úrovne cesty dolu do únikovej chodby, ktorá sa nachádza pod vozovkou.

Tunel bol razený v nerovnorodej geológii a v rôznych hĺbkach. Raze- nie prechádzalo čiastočne ílovitými a štrkovými naplaveninami a čiastočne kriedovými útvarmi (obr. 3). Stanovený sklon tunela a lokálne vyskytujúce sa minimálne nadložie 8,5 m pod líniou dna rieky boli jednou z hlavných výziev tohto projektu.

Pri realizácii núdzových výklenkov bolo nadložie vopred spevnené zmrazovaním a následne boli výklenky vyrazené konvenčne tunelovým bagrom.

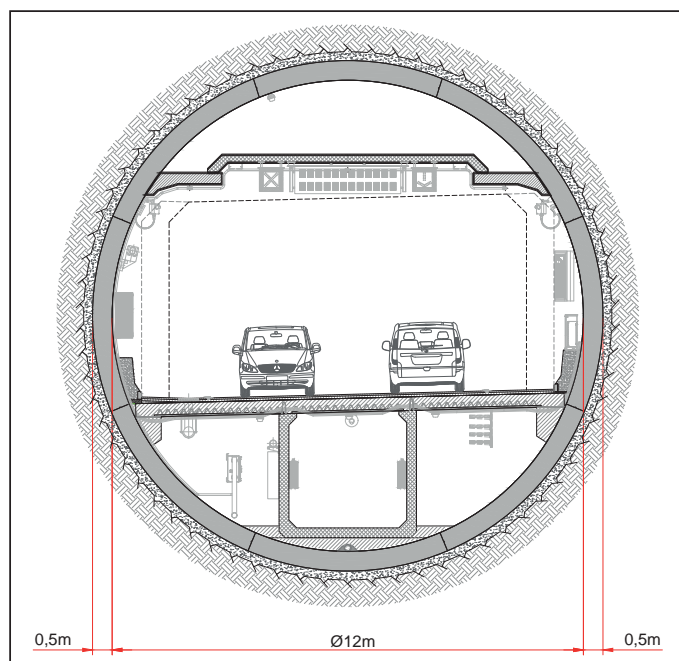
3.1 Bentonitový štít

Raze- nie pomocou bentonitového štítu bol jedným z mála spôso- bov, ako postaviť tunel v daných geologických podmienkach.

Použitý štít od výrobcu CREG je najväčší bentonitový štít dodaný do Európy z Číny a v poradí štvrtý raziaci stroj, ktorý zakúpila spoločnosť PORR (obr. 4).

Špecifikácia stroja:

Priemer raziaceho štítu:	13 460 mm
Celková dĺžka stroja:	cca 105 m
Celková hmotnosť stroja:	cca 2740 t
Max. pracovný tlak:	4,5 bar
Výkon pohonu:	4 200 kW
Prevádzkový krútiaci moment:	29 789 kNm
Max. krútiaci moment:	35 747 kNm
Otáčky:	0–2,56 ot/min
Max. rýchlosť posuvu:	60 mm/min



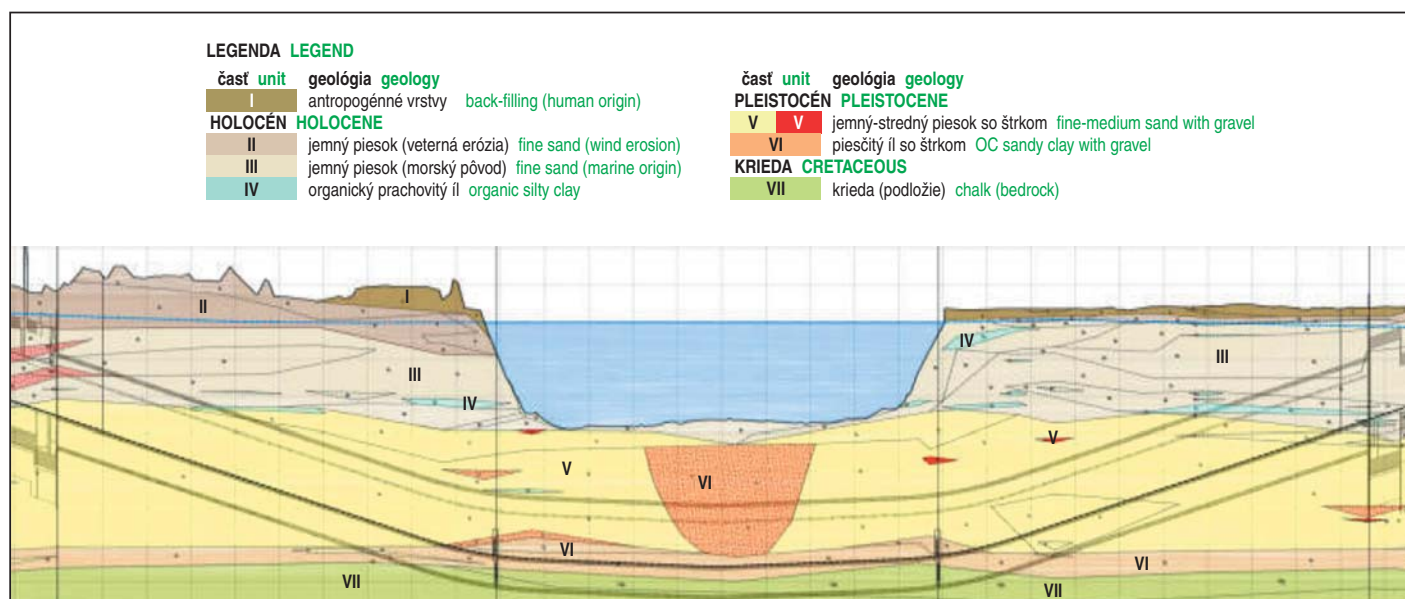
Obr. 2 Štandardný prierez tunelovej rúry

Fig. 2 Standard cross-section of the tunnel tube

part, 475m long, was built using the cut-and-cover method with the help of diaphragm walls; the following 295m long section was built using the cover-and-cut method with the excavation under a pre-constructed roof deck. The main part, 1.48km long, was driven using „The Islander“ Slurry Pressure Balance Tunnel Boring Machine. Tunnel driving operations started on March 5, 2021 and ended on September 19, 2021.

The Šwinoujście tunnel has an inner diameter of 12m, is a single-tube structure and has 3.5m wide lanes for bi-directional traffic (see Fig. 2). The necessary emergency lay-bys equipped with escape stairs allow drivers to get from the level of the road down to the escape gallery, which is located under the roadway.

The tunnel was excavated in heterogeneous geology and at different depths. The excavation passed alternately through clayey and gravel alluvium and Cretaceous formations (see Fig. 3). The



Obr. 3 Geológia trasy

Fig. 3 Route geology

Výroba stroja prebiehala v čínskom meste Changsha v provincii Hunan. Napriek pandémie koronavírusu dodržali naplánovaný čas výroby a dodania. Tunelovací stroj prešiel vo výrobnom závode akceptačnými testami, pričom všetky testy boli prenášané cez video streaming do Poľska. Po úspešnom absolvovaní testov výrobca pristúpil k jeho demontáži a preprave z Číny do Šwinnoujście.

Doprava tunelovacieho stroja trvala približne 60 dní, z toho 45 dní po mori. Montáž v štartovacej jame hlbokoj 23 m, dlhej 120 m a širokej 19 m trvala približne tri mesiace (obr. 5 a 6).



Obr. 4 Bentonitový štít
Fig. 4 Slurry Shield



Obr. 5 Montáž bentonitového štítu
Fig. 5 Assembly of the slurry shield

Aby sa stroj lepšie vyrovnal s geologickými podmienkami, jeho konštrukcia zahŕňala konštrukciu reznej hlavy s veľkým pomerom otvorov, a to 45 % z jej celkovej plochy. Rezná hlava je vybavená kotúčovými diskami s rozstupom nožov 100 mm (obr. 7).

Detekcia opotrebovania rezných nástrojov sa vykonáva pomocou elektronických snímačov namiesto zaužívanej metódy hydraulicky natlakovaných slepých vývrtov. Tieto snímače signalizujú stupeň opotrebovania postupne na princípe úbytku hmotnosti a nie iba binárne (0/1). Signál o stave opotrebovania sa prenáša bezdrôtovo z raziaceho štítu do riadiacej kabíny. Senzor je napájaný nabíjateľnou batériou počas celej doby razenia. Výhodou bezdrôtového prenosu je, že eliminuje potrebu zložitej mechanickej operácie do vnútra štítu na detekciu opotrebovania.

Výroba segmentov ostenia prebiehala vo výrobní vzdialenej 400 m od počiatočného miesta razenia. Používali sa dva druhy segmentov so šírkou 1,5 m a 2 m z betónu triedy C50/60 (PL) XS2, XA2.

determined longitudinal slope of the tunnel and the locally occurring minimum overburden thickness of 8.5m below the riverbed level were one of the main challenges of this project.

During the construction of emergency escape recesses, the overburden was pre-strengthened by freezing and subsequently the niches were excavated conventionally by a tunnel excavator.

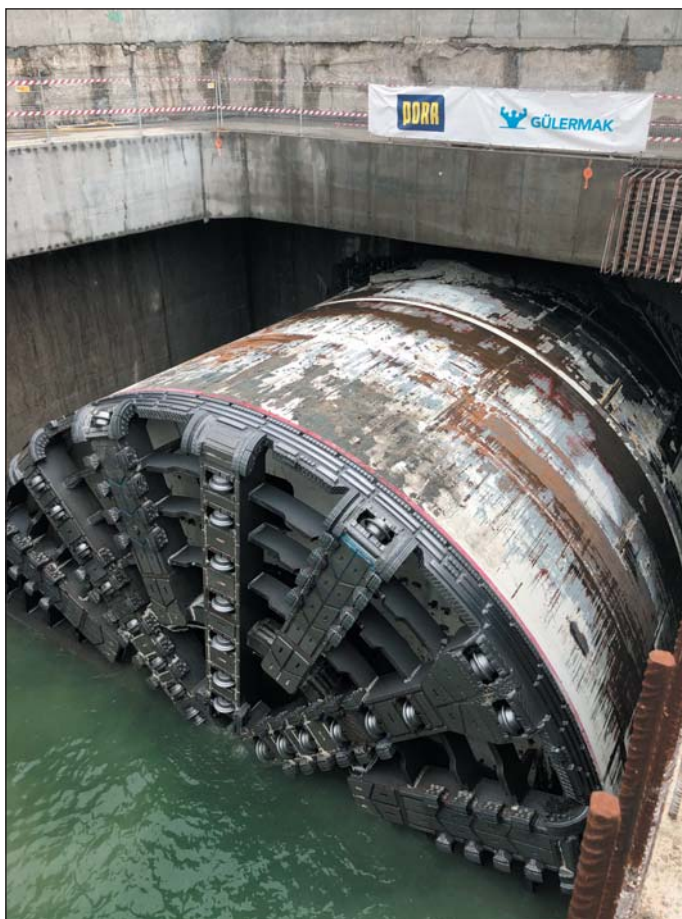
3.1 Slurry Shield

Driving the tunnel using the Slurry Shield was one of the few ways to build the tunnel in the particular geological conditions.

The shield used was manufactured by CREG. It is the largest slurry shield delivered to Europe from China and the fourth tunnel boring machine purchased byx PORR (see Fig. 4).



Obr. 6 Štartovacia jama so štítom
Fig. 6 Launching shaft with the shield



Obr. 7 Bentonitový štít v cieľovej jame
Fig. 7 Slurry shield in the target shaft

4. TECHNICKÉ RIEŠENIA

4.1 Jamy a konštrukcie rámp

Pred začatím výkopov pre konštrukcie rámp bola vybudovaná sústava podzemných stien hrúbky 100 a 120 cm, ktoré boli prepojené tak, aby vytvorili nepriepustnú bariéru voči podzemnej vode. Počas výkopov až po realizáciu základových dosiek bola voda kontrolovane odvádzaná vrtmi do priečného predelu konštrukcie. Následne boli uskutočnené výkopy pre konštrukcie pozdĺžnych rámp. V miestach, kde rampy neboli založené hlboko, boli vybetónované stropné a podperné nosníky. V oblastiach, kde sú rampy založené hlbšie do terénu, bola najprv realizovaná horná konštrukcia a následne bol vyťažený materiál pod ňou (obr. 8).

Pred realizovaním základovej dosky štartovacej jamy bolo nainštalované dočasné horizontálne vystuženie. Po jej vybudovaní bola štartovacia jama plne pripravená na montáž raziaceho zariadenia (obr. 9).

4.2 Dopravníkový systém

Výrub z tunela sa pomocou uzatvoreného kalového okruhu prenášal

Machine specification:	
Tunnelling shield diameter:	13,460mm
Total machine length:	ca 105m
Total machine weight:	ca 2,740t
Maximum working pressure:	4.5bar
Drive power:	4,200kW
Operational torque:	29,789kNm
Maximum torque:	35,747kNm
Rotation speed:	0–2.56rev/min
Maximum advance rate:	60mm/min

The machine was manufactured in the Chinese city of Changsha in Hunan Province. Despite the coronavirus pandemic, they kept to the scheduled manufacture and delivery times. The tunnel boring machine passed acceptance tests at the manufacturing plant, while all tests were transmitted by video streaming to Poland. After successfully passing the tests, the manufacturer proceeded to dismantling the machine and transporting it from China to Świnoujście.

The transport of the tunnelling machine took approximately 60 days, 45 days of which by sea. The installation in a 23m deep, 120m long and 19m wide launching pit took about three months (Figures 5 and 6).

In order to better cope with the geological conditions, the machine design included the construction of a cutting head with a large ratio of holes for buckets, 45% of its total surface area. The cutterhead is equipped with discs cutters with the spacing of cutting edges of 100mm (see Fig. 7). Cutting tool wear detection is performed using electronic sensors instead of the usual method of hydraulically pressurised blind boreholes. These sensors signal the degree of wear gradually on the principle of weight loss and not only in the binary way (0/1). The wear status signal is transmitted wirelessly from the tunnelling shield to the control cabin. The sensor is powered by a rechargeable battery throughout the tunnel driving duration. The advantage of wireless transmission is that it eliminates the need for complex mechanical intervention inside the shield to detect the wear.

The lining segments were produced in a casting plant 400m away from the starting place of driving the tunnel. Two types of segments with a width of 1.5m respectively 2m, made of concrete class C50/60 (PL) XS2, XA2 were used.



Obr. 8 Výstavba jamy a konštrukčných rámp
Fig. 8 Construction of the shaft and construction ramps

do bentonitového hospodárstva. Kalový okruh bol dimenzovaný na cirkulačný výkon 2800 m³/h, tomu zodpovedala aj samotná čistička kalu a počet čerpadiel. Pre výtláčné potrubie boli zvolené rúry DN 500 a pre prírodné potrubie DN 450. Po vyrazení prvých 350 m sa tlak na čerpadlá výrazne zvýšil, a preto bolo potrebné do vypúšťacej šachty inštalovať prvé posilňovacie čerpadlo s elektrickým výkonom 1100 kW.

4.3 Kalové hospodárstvo a odstredivky

Čistiareň kalu Schauenburg bola navrhnutá s pretriedením dvoma cyklónovými stupňami a odvodňovacími sitami. Separčný rozsah druhého cyklónového stupňa bol okolo 30 µm. Vlastnosti zemín spôsobili rýchly nárast hustoty suspenzie v kalovom okruhu, pretože prakticky 100 % jemných častíc sa rozpustilo, čo znemožňovalo prevádzku zariadenia na úpravu kalu a ich oddelenie od prepravného média. Aby sa dosiahlo požadované zníženie hustoty v kalovom okruhu, bolo potrebné značné množstvo suspenzie pri každej dodávke nahradiť čerstvou bentonitovou suspenziou. Suspenzia okrem vody a jemnozrnných pôdnych častíc obsahovala aj frakcie bentonitu, ktoré sa museli odstraňovať z kalového obehu.

4.4 Vyplnenie prstencovej medzery

Hlavná zložka dvojzložkovej malty bola čerpaná rúrou z HDPE polyetylénu z povrchu do tunelovacieho stroja. Použitie rúr z HDPE zváraných na tupo sa osvedčilo ako účinný prostriedok na zabrán-



Obr. 9 Pohľad na výstavbu štartovacej jamy tunela
Fig. 9 View of the construction of the launching shaft

4. TECHNICAL SOLUTIONS

4.1 Pits and ramp structures

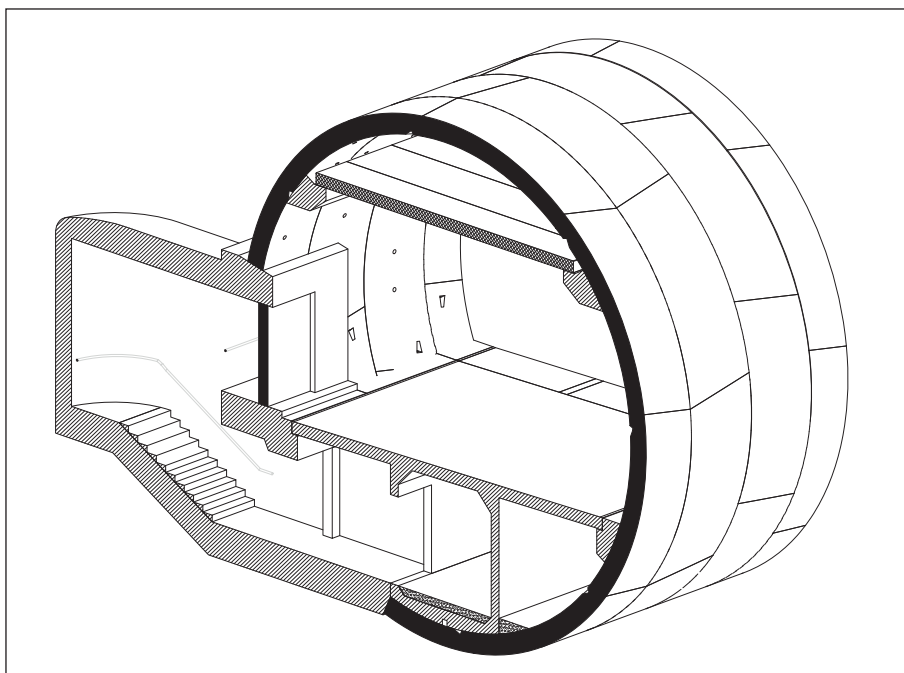
A system of 100 and 120cm thick diaphragm walls was built prior to the excavation for the ramp structures. They were connected to form an impermeable barrier to groundwater. During the excavation up to the construction of the base slabs, water was drained in a controlled manner through boreholes into the transverse divide of the structure. Subsequently, excavation was carried out for the construction of longitudinal ramps. In locations where the ramps were not founded deep, the tunnel roof and support beams were concreted. In areas where the ramps are founded deeper into



Obr. 10 Montáž ostenia
Fig. 10 Assembly of lining



Obr. 11 Segmentové tesnenie zapustené v betóne so stredovou kruhovou drážkou na uloženie napačiavacieho pásiku
Fig. 11 Segment sealing gaskets embedded in concrete, with a circular groove in the middle for placing a swelling strip

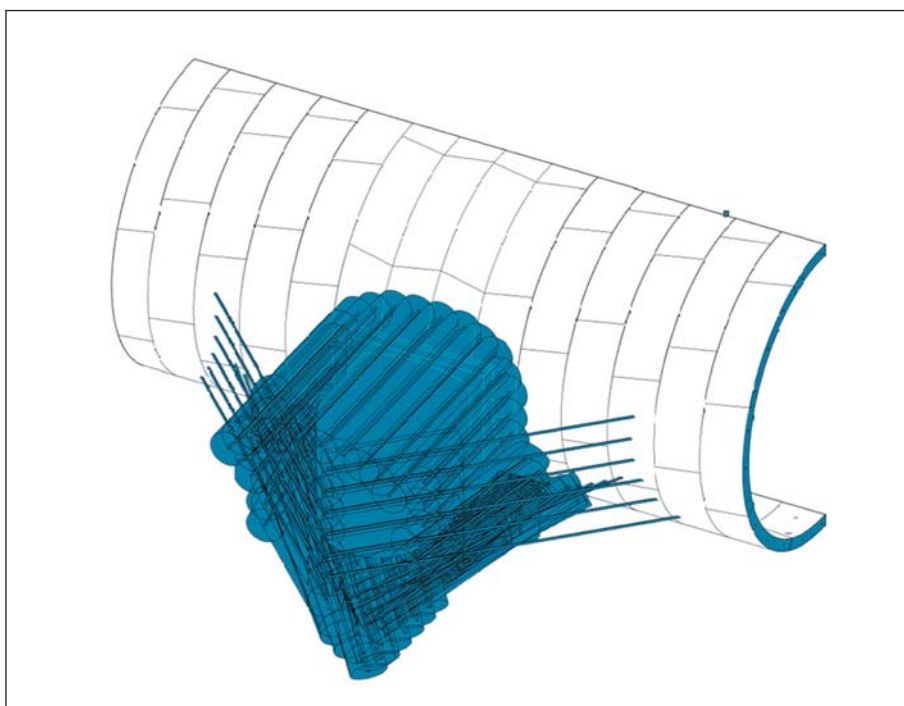


Obr. 12 Vizualizácia tunela s únikovým schodiskom

Fig. 12 Visualisation of the tunnel with the escape staircase

nie hromadeniu sedimentov, najmä v oblasti ich spojov. Táto technika využíva externé elektrofúzne spojky na vytvorenie potrubných spojov bez zmeny prierezu v spoji. Preniknutie cez tesniaci blok s tryskovou injektážou samo o sebe vnášalo do okruhu kalu veľké množstvo cementu. Malo to veľmi škodlivý vplyv na reologické vlastnosti bentonitu, čomu sa zabráňovalo častou výmenou suspenzie.

Na vnútornej strane prednej membránovej steny bolo inštalované konštrukčné nábehové tesnenie. Plášť štítu bol utesnený pomocou dvojitého tesnenia. Keď zadný koniec štítu dosiahol tesnenie, hadica Bullflex bola naplnená, čím sa utesnila prstencová medzera v segmente tunela.



Obr. 13 3D model realizácie núdzových východov zmrazovaním

Fig. 13 3D model of construction of emergency exits using freezing

the terrain, the upper structure was carried out first and then the material below was excavated (see Fig. 8).

Temporary horizontal bracing was installed prior to the construction of the base plate of the launching pit. After completion of the base plate, the launching pit was fully prepared for the assembly of the tunnelling machine (see Fig. 9).

4.2 Conveyor system

The muck from the tunnel was transported to the slurry treatment plant by means of a closed slurry circuit. The slurry circuit was designed for a circulation capacity of 2800m³/h, which was matched by the slurry treatment plant itself and the number of pumps. Pipes DN 500 were chosen for the discharge pipeline and DN 450 for the supply pipeline. After completion of the excavation of the first 350m, the pressure on the pumps increased significantly, and therefore it was necessary to install the first booster pump with an electrical output of 1100kW in the discharge shaft.

4.3 Slurry recycling centre and centrifuges

The Schauenburg slurry recycling plant was designed with resorting by two cyclone stages and drainage screens. The range of separation of the second cyclone stage was about 30µm. The soil conditions caused a rapid increase in the density of the suspension in the slurry circuit, as practically 100% of the fine particles dissolved, which made it impossible for the slurry recycling plant to operate and separate them from the transport medium. In order to achieve the desired reduction in the density of sludge in the slurry circuit, a significant amount of slurry had to be replaced with fresh bentonite slurry with each supply. In addition to water and fine-grained soil particles, the slurry also contained bentonite fractions, which had to be removed from the slurry circuit.

4.4 Filling of annular gap

The main component of the two-component mortar was pumped by HDPE (High Density Polyethylene) pipe from the surface to the tunnelling machine. The use of butt welded HDPE pipes has proven to be an effective means of preventing the accumulation of sediments, especially in the area of their joints. This technique uses external electrofusion couplings to create pipe joints without changing the cross-section in the joint. Penetration through the jet grouting sealing block itself brought a large amount of cement into the slurry circuit. This had a very detrimental effect on the rheological properties of the bentonite; it was prevented by frequent changing of the suspension.

A structural lead-in seal was installed on the inside of the front wall of the membrane wall. The shield shell was sealed with a double gasket. When the rear end of the shield reached the seal, the Bullflex hose was filled, sealing the annular gap in the tunnel segment.

4.5 Segmenty ostenia

Ostenie má vnútorný priemer 12 m a hrúbku 50 cm. Počet segmentov na 1 prstene pri šírke 2 m bol stanovený na 8+0 kusov. Aby sa predišlo kónicite ostenia prstenca, v oblastiach s malým polomerom zákrut boli inštalované segmenty aj so šírkou 1,5 m. Každá zmena šírky prstenca si vyžiadala zodpovedajúcu úpravu vákuovej dosky zdvíhacieho zariadenia segmentov (obr. 10). Na výrobu segmentov bol použitý betón C50/60 (PL) XS2, XA2 s použitím rozptýlenej ocelevej výstuže v dávke 45 kg/m^3 (nahradenie klasickej výstuže) a 2 kg/m^3 polypropylénových vlákien na zlepšenie protipožiarnych vlastností. Jednotlivé spoje medzi segmentami boli vybavené systémom zasúvacích hmoždínok, ktorý obmedzil posuny medzi segmentmi (vyosenie). Segmenty boli prepojené oceľovými plechmi ako ochrana voči bludným prúdom.

Tesnenie jednotlivých segmentov bolo tvorené inovatívnym riešením segmentového tesnenia s drážkovitou základňou šírky 44 mm, ktorá bola uchytená do segmentu pomocou kotviacich nožičiek. Tesnenie má v strede kruhovú drážku, do ktorej sa tesne pred inštaláciou segmentu vloží napučiaci pásik (obr. 11).

4.6 Razenie núdzových východov

Núdzové východy sú vytvorené bočnými výklenkami v tuneli vybavenými protipožiarными dverami a zahŕňajú schodisko vedúce z úrovne vozovky na evakuačnú úroveň nižšie (obr. 12). Na umiestnenie schodiska bolo potrebné otvoriť niekoľko prstencov ostenia smerom nadol na úroveň dna. Ako dočasné podporné opatrenie na ochranu častí ostenia, ktoré bolo potrebné otvárať, bola navrhnutá a vopred nainštalovaná pevná oceľová konštrukcia vyrobená zo zakrivených I-nosníkov.

Za účelom stabilizácie nespevnenej piesčitej zeminu a kontroly tlaku vody bola zemina v blízkosti núdzových východov pred otvorením segmentov ostenia spevnená zmrazovaním soľankou (obr. 13). Akonáhle bola zemina stabilizovaná, výklenky boli vyhlbené a bolo realizované finálne ostenie.

5. ZÁVER

V čase písania tohto článku bol vyrazený celý tunel. Úspešná realizácia ukázala správnosť zvolenej metódy. Inovatívny systém tesnenia segmentov pozostávajúci z rozpínavej tesniacej časti kombinovanej so zásuvným hmoždinkovým systémom a výplňou prstencovej medzery dvojzložkovou maltou zabezpečuje mimoriadne vysokú tesnosť a elimináciu chýb vyplývajúcich zo skladby finálneho ostenia tunela.

Spoločnosť CREG ako dodávateľ bentonitového štítu dodržala všetky požiadavky, ktoré si realizátor stanovil pre technické parametre stroja, ktorý po celú dobu výstavby ustál náročné geologické podmienky bez závažnejších porúch. Rovnako komunikácia so spoločnosťou počas prípravnej a realizačnej fázy projektu bola na vysokej profesionálnej úrovni.

*Dipl.-Ing. ARTHUR GÖBL,
arthur.goebel@porr.at, PORR Bau GmbH,
Ing. EUBICA PIŠŤANSKÁ,
lubica.pistanska@porr.sk, PORR s.r.o.*

Recenzoval *Reviewed:* Ing. Pavel Polák

4.5 Lining segments

The lining has 12m in diameter and is 50cm thick. The number of segments per one 2m wide ring was set at 8+0 pieces. In order to prevent the conicity of the ring lining, 1.5m wide segments were also installed in areas with a small curve radius. Each change in the width of the ring required a corresponding adjustment of the vacuum plate of the segment lifting device (see Fig. 10). C50/60 (PL) XS2, XA2 concrete was used to produce the segments using fibre reinforcement with steel fibres density of 45 kg/m^3 (replacement of conventional reinforcement) and polypropylene fibres with a density of 2 kg/m^3 added to improve fire protection properties. The individual joints between the segments were provided with a system of plug-in dowels, which limited shifting between the segments (misalignment). The segments were connected by steel sheets as protection against stray currents.

The sealing of the individual segments was formed by an innovative solution to sealing gaskets with a grooved base 44mm wide, which was fixed into the segment by means of anchoring feet. The gasket has a circular groove in the middle, into which a swelling strip is inserted just before the installation of the segment (see Fig. 11).

4.6 Excavation of emergency exits

Emergency exits are provided by sidewall recesses equipped with fire-check doors, which include a staircase leading from the roadway level to the evacuation level below (see Fig. 12). To build the staircase, it was necessary to open several lining rings downwards to the inverse level. As a temporary support measure designed to protect the parts of the lining that needed to be opened, a rigid steel structure made from curved I-beams was designed and installed in advance.

In order to stabilise the unconsolidated sandy soil and control the water pressure, the soil in the vicinity of the emergency exits was reinforced by brine freezing before removing the lining segments (see Fig. 13). As soon as the soil was stabilised, the recesses were excavated and the final lining was carried out.

5. CONCLUSION

At the time of writing, the whole tunnel excavation had been finished. Successful completion has proved the correctness of the choice of the method. The innovative segment sealing system consisting of an expansive sealing part combined with a plug-in dowel system and the filling of the annular gap with a two-component mortar ensures extremely high tightness and elimination of errors resulting from the composition of the final tunnel lining.

CREG, as a supplier of slurry shields, complied with all the requirements set by the contractor for the technical parameters of the machine, which coped with demanding geological conditions throughout the construction period without major failures. Likewise, communication with the company during the preparation and construction phases of the project was at a high professional level.

*Dipl.-Ing. ARTHUR GÖBL,
arthur.goebel@porr.at, PORR Bau GmbH,
Ing. EUBICA PIŠŤANSKÁ,
lubica.pistanska@porr.sk, PORR s.r.o.*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] GÖBL, A. Tunnel Swinemünde – Hydroschildeinsatz unter der Ostsee. *Geomechanics and Tunnelling*, December 2021.
- [2] Interné dokumenty/fotografie z realizácie fy PORR Bau GmbH.

SÚČASNÁ VÝSTAVBA METRA VO VIEDNI – VÝZVY SÚVISIACE S VÝSTAVBOU PODZEMNEJ DRÁHY V MESTÁCH

VIENNA METRO CURRENT CONSTRUCTION – CHALLENGES OF METRO CONSTRUCTION IN URBAN AREAS

HARALD GLÖSL, LUBICA PIŠŤANSKÁ

ABSTRAKT

Príspevok sa zaoberá výstavbou nových liniek podzemnej dráhy v husto zastavanom území centra mesta Viedeň. Popisuje všetky potrebné opatrenia, ktoré realizátor vykonáva na monitorovanie a zabránenie negatívnym vplyvom spôsobeným razením tunelových rúr na úseku 17-21 linky U2 podzemnej dráhy vo Viedni.

ABSTRACT

The paper deals with the construction of new metro lines in the densely developed area of Vienna's city centre. It describes all the necessary measures that the construction contractor takes to monitor and prevent the negative effects caused by the excavation of tunnel tubes on section 17-21 of the U2 Line of the Vienna metro.

1. ÚVOD

V rámci rozšírenia siete viedenského metra o trasu U2 a vybudovanie podzemnej linky U5 získalo v roku 2020 konzorcium pozostávajúce zo spoločností PORR a Strabag zákazku spoločnosti Wiener Linien na v súčasnosti najväčší ucelený stavebný projekt viedenského metra. Stavebný úsek U2/17-21 rozšírenia liniek metra U2 a U5 má hodnotu zákazky 481 miliónov eur. Výstavba sa začala v marci 2021 a potrvá do mája 2028.

1.1 Križovatka U2xU5

Zámerom „Plánu rozvoja mesta 2025 – technická koncepcia mobility“ je rozšíriť ponuku verejnej dopravy mesta Viedeň. Tento balík zahŕňa okrem iného aj rozšírenie liniek viedenského metra. Na dosiahnutie tohto cieľa by mala na jednej strane slúžiť nová trasa U2 zo Schottentoru cez západné vnútorné mestské obvody na juh a na druhej strane vybudovanie novej podzemnej linky U5.

Linka U5 bude novou linkou zo stanice Rathaus v smere na Hernal a v stanici Rathaus bude napojená na súčasnú linku U2 až po stanicu Karlsplatz (obr. 1).

V rámci 4. etapy rozširovania viedenského metra sa budú realizovať tieto stavebné etapy: U2/17 „razenie EPB a prepojavacie šachty“, U2/18 „Matzleinsdorfer Platz“, U2/19 „Reinprechtsdorfer Straße“, U2/20 „Pilgramgasse“, U2/21 „Neubaugasse“, U2/22 „Rathaus“ a U5/2 „Frankhplatz“.

1. INTRODUCTION

In the framework of the expansion of the Vienna metro network by the U2 Line and the construction of the U5 metro line, a consortium consisting of PORR and Strabag won the contract from the company of Wiener Linien in 2020 for the largest comprehensive Vienna metro construction project. The contract value of the construction section U2/17-21 of the extension of the U2 and U5 metro lines amounts to 481 million euros. Construction commenced in March 2021 and will last until May.

1.1 Intersection U2xU5

According to the intention “Urban Development Plan 2025 – Urban Mobility Concept” the offer of public transportation system of the city of Vienna is to be expanded. This package includes, among other things, the extension of Vienna's metro lines. To achieve this, the new U2 Line from Schottentor through the western inner districts to the south should serve on the one hand, and on the other hand, the construction of the new U5 underground line should be developed.

The U5 Line will be a new line from the Rathaus station in the direction of Hernal. At the Rathaus station, it will be connected to the current U2 Line up to the Karlsplatz station (see Fig. 1).

As part of the 4th stage of the Vienna metro expansion, the following construction stages will be implemented: U2/17 “EPB TBM



Obr. 1 Situácia trás U2 a U5
Fig. 1 Map of U2 and U5 lines

2. VÝSTABA ETAPY U2/17 „MATZLEINSDORFERPLATZ“ PO U2/21 „NEUBAUGASSE“

2.1 Prehľad

V rámci rozširovania metra bude úsek U2 medzi Karlsplatz a Rathaus prevedený na U5 a U2 a v budúcnosti bude úsek vedený na juh cez novú vetvu metra. Zákazka je súčasťou prvej stavebnej fázy rozšírenia U2/U5 v hlavnom meste Rakúska. Patria sem stavebné úseky U2/17 „razenie“ až po U2/21, stanicu „Neubaugasse“.

Projekt sa nachádza v centre mesta a zasahuje do štyroch mestských obvodov Viedne: 5., 6., 7. a 10. obvodu. Zahŕňa etapu výstavby U2/18 (stanica Matzleinsdorfer Platz s časťou južne sa pripájajúceho zariadenia na otáčanie – obratisko, prípadne pokračujúcej trasy tunelovej rúry) v 10. mestskom obvode. Traťové tunely sa budú raziť zo šachty Matzleinsdorferplatz pomocou plnoprofilového raziaceho stroja typu zeminový štít (viz prijatá terminológia CzTA a STA) po dokončení staničných objektov. Šachta na Triester Straße je východiskovým bodom (štartovacou šachtou) pre dve tunelové rúry, ktoré budú postupne razené TBM z Matzleinsdorfer Platz nachádzajúceho sa v 10. mestskom obvode po Augustinplatz v 7. obvode (cieľová šachta). Zeminový štít vyrazí dĺžku približne 2,8 km, kde budú vybudované tri stanice (v rámci stavebných úsekov U2/19, U2/20 a U2/21) a tri núdzové únikové šachty s výhybkami (Reinprechtsdorfer Straße, Kaunitzgasse a Augustinplatz), čo vedie k efektívnej dĺžke razenia približne 2×2 km v dôsledku efektívneho presunutia tunelového stroja cez stavebné objekty nových staníc a výhybiek.

2.2 Základné informácie

Šachty sú hlboké až do 35 m a budujú sa hĺbením z povrchu. Na paženie výkopovej šachty sa väčšinou používajú vŕtané pilótové steny. Priemer pilót sa pohybuje medzi 90 cm a 120 cm. Paženie severnej šachty v oblasti Matzleinsdorferplatz bude zabezpečené výstavbou podzemnej konštrukčnej a tesniacej steny.

Celkovo sa na celej stavbe zrealizuje asi 40 500 dĺžkových metrov vŕtaných pilót. Celkový objem vykopanej zeminu je približne 650 000 m³.

3. VÝSTAVBA TUNELOV A STANÍC

Všetky traťové tunely budú razené plnoprofilovým raziacim strojom typu zeminový štít. Celkovo bude kontinuálne vyrazených 4 200 dĺžkových metrov traťových tunelov. Okrem toho bude štít vedený cez predtým vybudované objekty staníc v dĺžke približne 1 200 m.

Razenie staníc metra (vrátane vetracích šácht), potrebných spojovacích chodieb a šikmých eskalátorových šácht prebieha NRTM metódou. Celkovo sa bude raziť cca 2 200 dĺžkových metrov tunela s prierezom cca 65 m² až 95 m² a niekoľko menších tunelov a šácht. Na obr. 2 je zobrazený hrubý prehľad plánovaných fáz výstavby U2/17 až U2/21.

excavation and excavation of a connecting shaft”, U2/18 “Matzleinsdorfer Platz”, U2/19 “Reinprechtsdorfer Straße”, U2/20 “Pilgramgasse”, U2/21 “Neubaugasse”, U2/22 “Rathaus” and U5/2 “Frankhplatz”.

2. IMPLEMENTATION OF STAGE U2/17 “MATZLEINSDORFERPLATZ” UP TO U2/21 “NEUBAUGASSE”

2.1 Overview

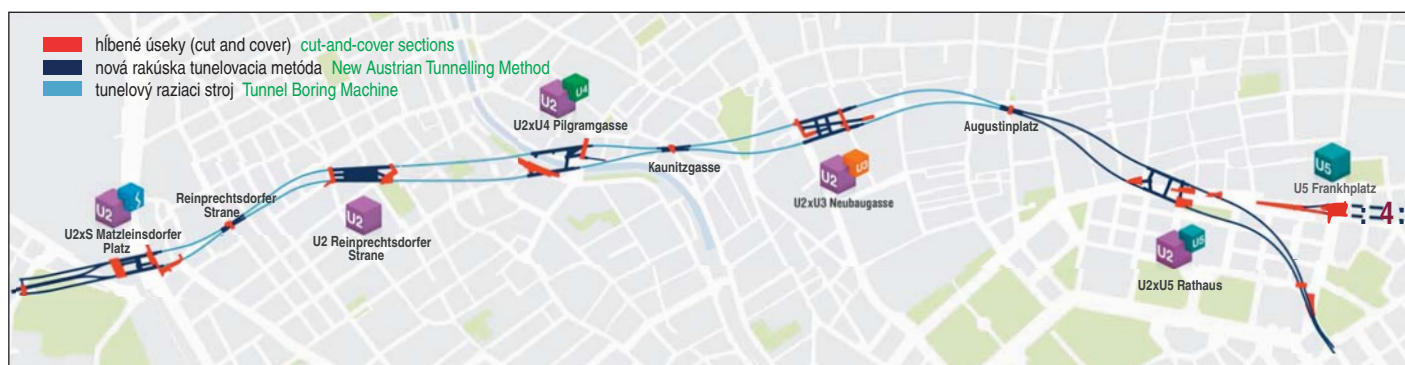
The U2 section between Karlsplatz and Rathaus will be diverted within the framework of the expansion of the metro to the U5 and U2, and in the future the section will run south via a new metro branch. The contract is part of the first construction phase of the U2/U5 extension in the Austrian capital. It includes the U2/17 „tunnelling“ sections up to U2/21, the „Neubaugasse“ station.

The project is located in the city centre and extends to 4 districts of Vienna, to 5th, 6th, 7th and 10th districts. It comprises the construction phase U2/18 (Matzleinsdorfer Platz station with a part of a facility allowing for turning the TBM back, connecting from the south – a turnout facility, and possibly part of the continuing tunnel tube route) in the city district No. 10. Running tunnels will be driven from the Matzleinsdorferplatz shaft using a full-face earth pressure tunnel boring machine (see the accepted terminology of the CzTA and the STA) after the completion of station structures. The shaft on Triester Straße is the starting point (launching shaft) for the two tunnel tubes, which will be gradually excavated by the TBM from Matzleinsdorfer Platz located in city district No. 10 up to Augustinplatz in district No. 7 (the target shafts). The Earth Pressure Tunnel Boring Machine (EPB TBM) will drive a length of approximately 2.8km, where 3 stations will be built (within the construction sections U2/19, U2/20 and U2/21) and 3 emergency escape shafts with facilities allowing for turning the TBM back (Reinprechtsdorfer Straße, Kaunitzgasse and Augustinplatz), which leads to an effective excavation length of approximately 2×2 km due to the effective movement of the tunneling machine across the construction sites of the new stations and switches.

2.2 Basic information

The shafts are 35m deep and are built by sinking from the surface. Bored pile walls are usually used to brace the shaft excavation. The northern shaft in the area of Matzleinsdorferplatz will be braced using a structural and sealing diaphragm wall.

In total, about 40.500 metres of bored piles will be carried out on



Obr. 2 Situácia trás U2 a U5
Fig. 2 Map of U2 and U5 line

zdroj: „webstránka Viedenského metra“ source: “Vienna metro homepage”

3.1 Geológia

Územie, v ktorom sa nachádzajú stavebné úseky U2/18 až U2/21, je situované vo Viedenskej kotline. Miocénne sedimenty mora Paratethys sú v tejto oblasti prekryté pleistocénnymi sedimentmi ľadovcových terás. Najmladšími sedimentmi sú recentné riečne štrky rieky Viedenska. Celá trasa metra stavebného úseku U2/17 prechádza vrstvou miocénu.

Geologické vrstvy, ktoré sa vyskytujú pozdĺž trasy, sú uvedené nižšie (začínajúc v hornej časti terénu). Typy horninových masívov, ktoré sú definované podľa smernice ÖGG (Rakúska spoločnosť pre geomechaniku) podľa geotechnických a geologických aspektov, sú tiež uvedené nižšie.

- Recent: antropogénne násypy, recentné riečne štrky rieky Viedenska.
- Kvartér: nánosy pleistocénnych terás (terasa Arsenal), spraše a sprašové hliny, prolúviálne (deluviofluviálne) vejárové sedimenty; jemnozrnné sedimenty a piesčité štrky pleistocénu Viedenskej kotliny;
- Miocén: erciérni sedimenty Viedenskej kotliny (bahno/ily, panónske piesky a štrky).

3.2 Hydrogeologické podmienky

Podmienky podzemných vôd sú veľmi rozdielne v závislosti od geologickej situácie s ohľadom na polohu najvyššej a najnižšej hladiny spodnej vody.

Na relatívne plochej a vyššej terase Arsenal v 6. a 7. mestskom obvode je podložie na báze kremenného štrku, rovnako je aj na pieskovcových štrkoch pleistocénnej rieky Viedenska, v 5., resp. 6. mestskom obvode sa štrky vyskytujú iba v žlaboch. Na svahoch Favoriten a Margareten v smere ku rieke Viedenska, na ľavej strane rieky Viedenska a na svahu smerom k Stadterrasse (v centre mesta) sú pravdepodobné vrstvy vody v prolúviálnych (deluviofluviálnych) vejárovitých sedimentoch rôznej hrúbky a heterogénneho zloženia. V miocéne sa vo vrstvách piesku a štrku vyskytuje tlaková podzemná voda. V jednotlivých miocénnych štrkových vrstvách hrubých až niekoľko metrov môže byť podzemná voda pomerne aktívna, nakoľko sa jedná o prúdiacu vodu, ktorá má aj zodpovedajúci tlak. V prevažne tenkých pieskových vrstvách možno predpokladať skôr drobnejšie zvodne.

3.3 Projekt

Tunely razené konvenčne NRTM a ďalšie konštrukcie sú tvorené dvomi plášťami s vonkajším ostením zo spevňujúceho striekaného betónu a s vnútorným ostením zo železobetónu (obr. 3). Vnútorné ostenie s hrúbkou 40 cm je navrhnuté podľa smernice „Betón sekundárneho ostenia tunelov“ Rakúskeho zväzu stavebných inžinierov (Innenschale beton ÖBV). Z protipožiarneho dôvodu sa do železobetónu vnútorných plášťov (s výnimkou podkladového betónu v priestore stanice)

the entire construction site. The total volume of the excavated soil amounts approximately to 650.000m³.

3. CONSTRUCTION OF TUNNELS AND STATIONS

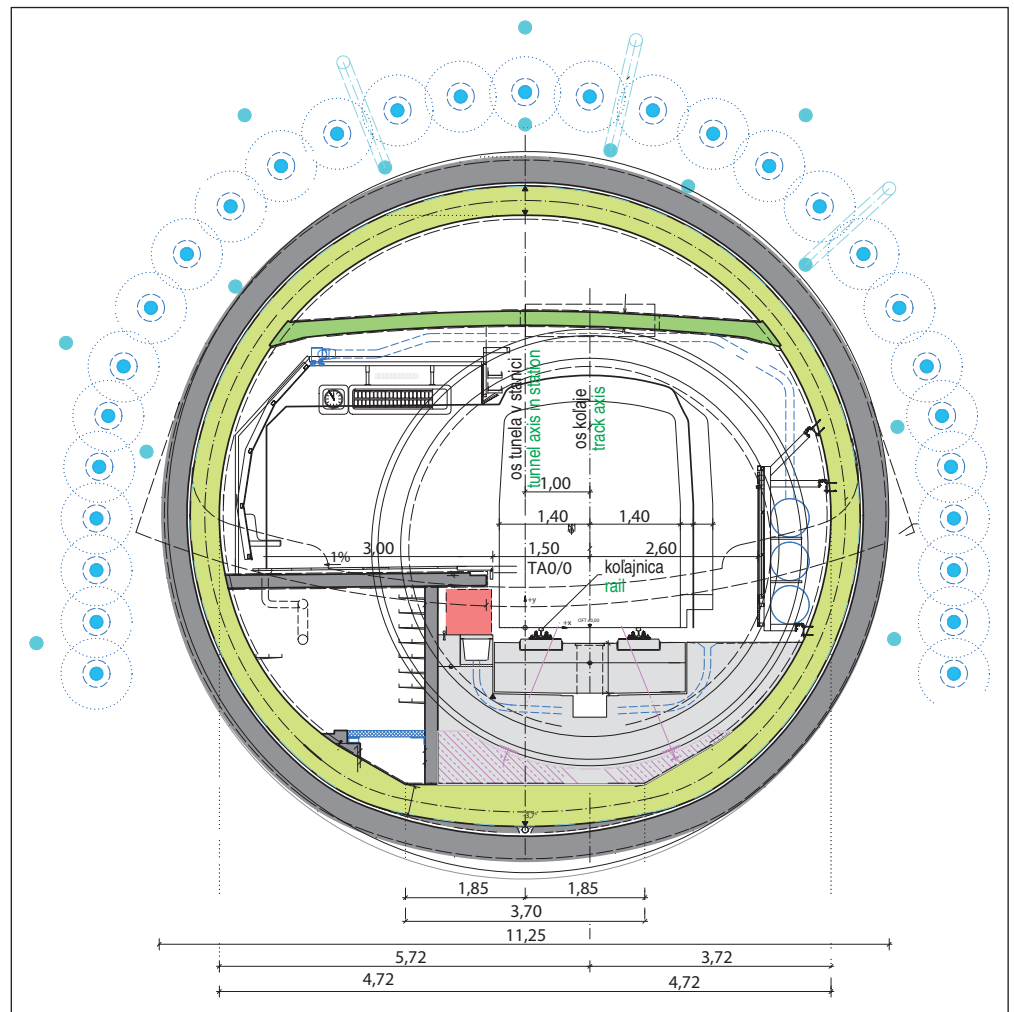
All running tunnels will be driven with a full-face shield of the earth pressure balance type. In total, 4.200m of running tunnels will be continuously driven. In addition, the shield will be shifted through in advance constructed station structures, with a length of about 1.200m.

The excavation of metro stations (including ventilation shafts), the necessary crosscuts and inclined escalator shafts is carried out using the NATM method. A total of approximately 2.200 metres of tunnel with a cross-section ranging from about 65m² to 95m² and several smaller tunnels and shafts will be excavated. Fig. 2 shows a rough overview of the planned construction phases U2/17 to U2/21.

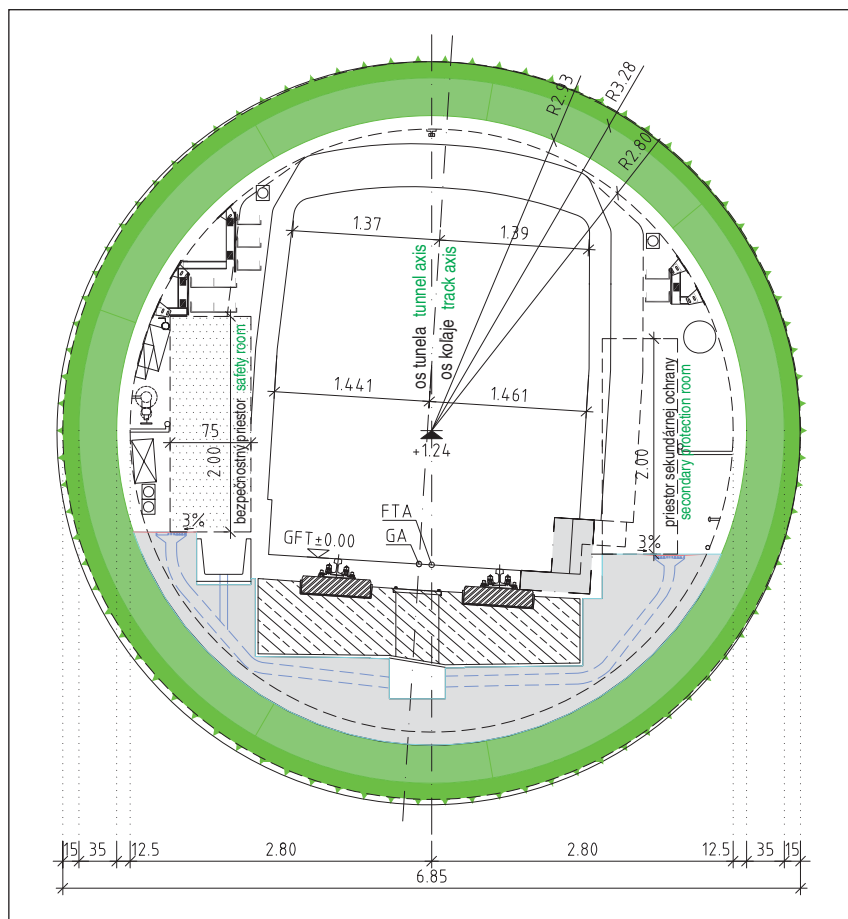
3.1 Geology

The area in which the construction sections U2/18 to U2/21 are located lies in the Vienna Basin. Miocene sediments of Paratethys sea are overlain in this area by Pleistocene sediments of glacial terraces. The youngest sediments are the recent river gravels formed by the Vienna River. The entire metro route of the U2/17 construction section passes through the Miocene Formation layer.

The geological layers occurring along the route are listed below (starting at the top of the terrain). The types of rock massifs, which are defined according to the ÖGG (Austrian Society for Geome-



Obr. 3 Vzorový priečný rez stanice metra
Fig. 3 Standard cross-section through a metro station



zdroj: „Podklady pre výberové konanie U2 17-21“ source: “Background documents for U2 17-21 tender”

Obr. 4 Vzorový priečný rez tunelovej rúry trasy

Fig. 4 Standard cross-section through a tunnel tube on the route

a medzistropov v tubusoch staníc pridávajú polypropylénové (PP) vlákna podľa smernice ÖBV „Vláknobetón“ (Faserbeton).

Trafové rúry sú razené raziacim strojom typu zeminový štít (EPB – Earth Pressure Balance Shield). Výstavba sa realizuje ako jednovrstvový utesnený tubingový (segmentový) systém s hrúbkou segmentu 35 cm (obr. 4).

Geotechnický projekt bol uskutočnený v zmysle smernice „Pokyny pre geotechnické plánovanie podzemných stavieb so súvislým a cyklickým razením tunelov“ Rakúskej spoločnosti pre geomechaniku (ÖGG) a RVS 09.01.42 „Uzavretá konštrukcia pri výstavbe vo voľnej hornine“ Rakúskej výskumnej spoločnosti pre cestnú/železničnú dopravu (FSV).

Naprojektované štandardné prierezy staničných a traťových rúr pre križovatku tratí U2xU5 boli dopredu odsúhlasené všetkými zúčastnenými organizáciami na stavbe a zodpovedajú z veľkej časti štandardnému prierezu najnovších projektov liniek videnského metra Wiener Linien.

3.4 Metódy tunelovania

Tunelové rúry v oblasti staničných objektov sú razené v nespevnenej hornine podľa Novej rakúskej tunelovacej metódy (NRTM).

Razenie NRTM v nespevnenej hornine sa vyznačuje predovšetkým svojou rôznorodosťou, pokiaľ ide o prierezovú geometriu a veľkosť, ako aj rýchlym prispôbením typu tunelovania a zabezpečovacích zariadení na vyskytujúcu sa geológiu. Rozpojovanie horninového masívu sa vykonáva pomocou bagra. Vývoz rúbiny sa vykonáva s nákladnými vozidlami a/alebo kolesovými nakladačmi.

Hlavným podporným prvkom je dvojvrstvé vystužené ostenie zhotovené zo striekaného betónu s hrúbkami medzi 35 cm a 40 cm.

chanics) guideline according to geotechnical and geological aspects, are also listed below:

- Recent: man-made fills, recent river gravels formed by the Vienna River;
- Quaternary period: deposits of Pleistocene terraces (Arsenal terrace), secondary loess, proluvial (deluviofluvial) sediment fans; fine-grained sediments and Pleistocene sandy gravel of the Vienna Basin;
- Miocene: tertiary sediments of the Vienna Basin (mud/clay, Pannonian sand and gravel).

3.2 Hydrogeological conditions

Groundwater conditions are very variable depending on the geological situation and the situation with regard to the highest and lowest groundwater levels.

On the relatively flat and higher Arsenal terrace in the 6th and 7th district, there is the underlier based on quartz gravel, and on the sandstone gravels of the Pleistocene Vienna River, in the 5th and 7th district, respectively. On the slopes of Favoriten and Margareten in the direction of the Vienna River, on the left side of the Vienna River and on the slope facing the Stadtterrasse (city centre) there are presumable layers of water in proluvial (deluvio-fluvial) fan-shaped sediments of different thickness and heterogeneous composition. In the Miocene, pressurised groundwater occurs in layers of sand and gravel. In individual Miocene gravel layers up to several meters thick, groundwater can be relatively active as it is flowing water which also has a corresponding pressure. Smaller aquifers can be expected in

predominantly thin sand layers.

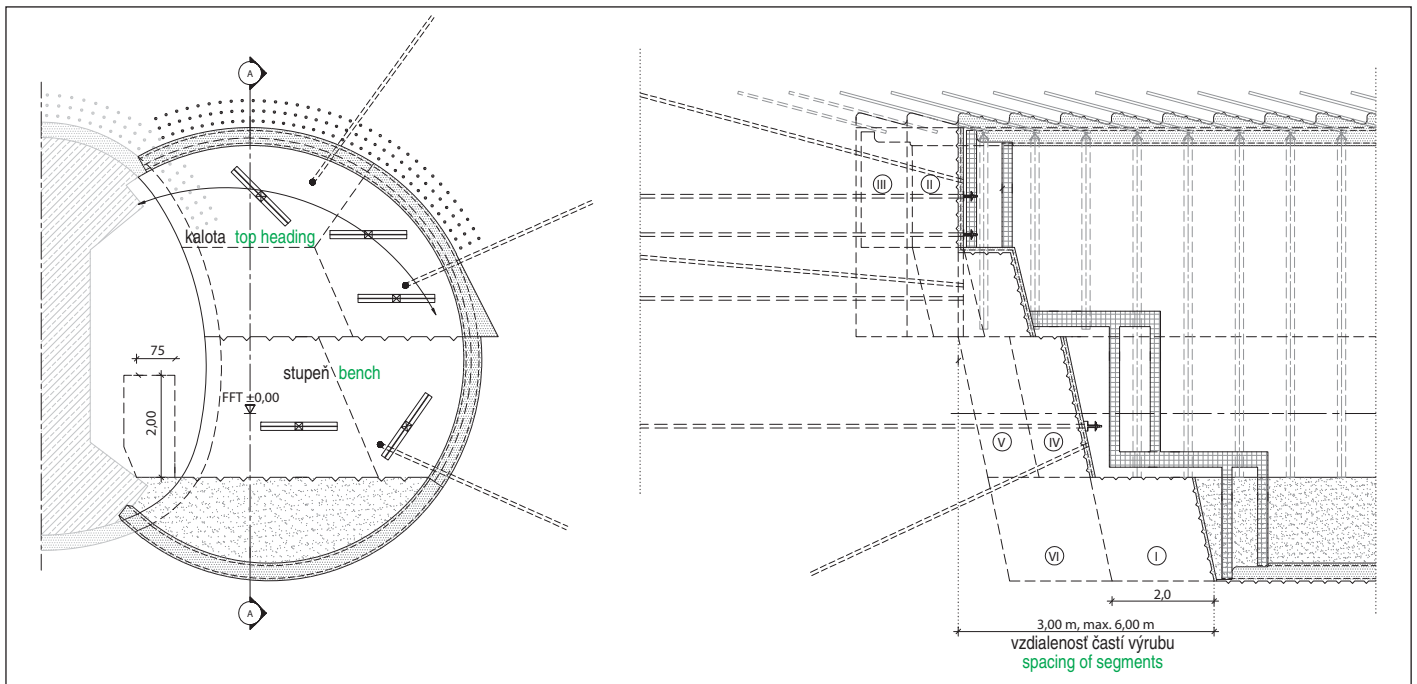
3.3 Design

The conventionally driven NATM tunnels and other structures are formed by two shells with an external lining of reinforcing shotcrete and with an inner lining of reinforced concrete (see Fig. 3). The internal lining with a thickness of 40cm is designed according to the directive „Concrete for secondary linings of tunnels“ (Innenschale beton ÖBV) of the Austrian Association of Civil Engineers. Polypropylene (PP) fibres are added to the reinforced concrete of the inner shells (with the exception of blinding concrete in station areas) and intermediate decks in station tubes according to the ÖBV „Fibre-reinforced concrete“ (Faserbeton) directive.

The running tunnel tubes are driven with an Earth Pressure Balance Shield (EPB TBM). The construction is carried out as a single-layer, sealed segmental system with the tubings 35cm thick (see Fig. 4).

The geotechnical design was carried out in accordance with the Austrian Society for Geomechanics (ÖGG) directive „Guidelines for Geotechnical Planning of Underground Structures with Continuous and Cyclic Driving of Tunnels“ and RVS 09.4.42 “Closed structure in construction in massive rock“ of the Austrian Research Association for Roads, Railways and Transport (FSV)

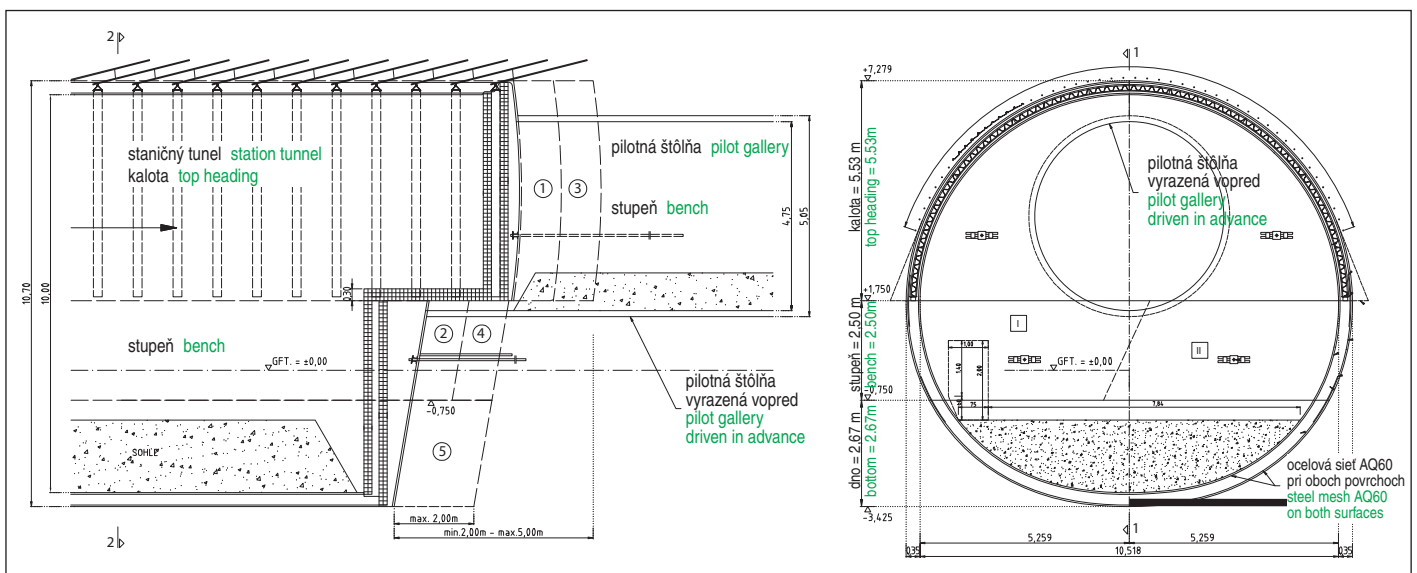
The standard cross-sections of station and running tunnel tubes designed for the U2xU5 line junction were approved in advance by all participating organisations on the construction site and largely correspond to the standard cross-section of the latest Wiener Linien metro designs.



zdroj: „Podklady pre výberové konanie U2 17-21“ source: “Background documents for U2 17-21 tender”

Obr. 5 Členenie výrubu a zaistenie čelby staničného tunela

Fig. 5 Excavation sequence and stabilisation of excavation face of a station tunnel



zdroj: „Podklady pre výberové konanie U2 17-21“ source: “Background documents for U2 17-21 tender”

Obr. 6 Členenie výrubu a zaistenie čelby staničného tunela pomocou pilotnej štolne

Fig. 6 Excavation sequence and stabilisation of excavation face of a station tunnel by a pilot gallery

Čelba tunela bude vopred zabezpečená bezpečnostnými zariadeniami alebo opatreniami na zlepšenie súdržnosti zemín (zmrazovanie, dáždniky, samovítacie ihly) prispôbenými geológii (obr. 5). V prípade nepriaznivej geológie a/alebo na minimalizáciu sadania na povrchu terénu sa môžu použiť zariadenia na ochranu čelby (napríklad čelné kotvy, nízkotlakové injektáže). Dĺžka záberu v nespevnenej hornine je zvyčajne 0,80–1,20 m. Pri razení je zabezpečená vhodná ochrana čelby. Tvoria ju nevystužený striekaný betón v hrúbke 5–10 cm a v závislosti od geológie môže byť doplnená oporným jadrom, stužňovitou čelbou a/alebo samozávrtnými ihlami (obr. 6).

Rozsiahly program geotechnického merania sleduje razenie tunela a v prípade potreby sú výstupy podkladom pre rozhodnutia o ďalšom razení tunela s ohľadom na typ razenia a použité nosné a zabezpečovacie prostriedky.

Tunelové rúry medzi stanicami a mimo výhybkového systému sú razené zeminovým štítom. Pri tomto type razenia slúži ako plas-

3.4 Tunnelling methods

The tunnel tubes in the area of stations are excavated in unconsolidated ground according to the New Austrian Tunnelling Method (NATM).

The NATM tunnelling in unconsolidated ground is characterised above all by its diversity in terms of cross-sectional geometry and size, as well as by the rapid adaptation of the type of tunnelling and excavation support measures to the existing geology. The rock/ground mass is disintegrated by an excavator. The muck is removed by trucks and/or wheel loaders.

The main excavation supporting element is a 2-layer lining made of reinforced shotcrete with the thickness ranging from 35cm to 40cm. The tunnel face will be secured in advance by supporting elements or measures to improve soil cohesion (freezing, canopy tube pre-support, self-drilling needles) adapted to the geology (see

tické nosné médium hlinitá emulzia vyrobená z výkopového materiálu. Umožňuje potrebné vyrovnanie pomeru tlakov na čelbe, zabráňuje nekontrolovanému prenikaniu zeminu do stroja a vytvára podmienky pre rýchle razenie bez sadania nadložia.

Výstavba kontinuálne zhotovovaných tunelových rúr sa realizuje pomocou železobetónových prefabrikátov (segmentov), ktoré sú osadzované aj ako ochrana do chráneného priestoru tvoreného plášťom štítu. Z dôvodu požiarnej ochrany sa železobetónové prefabrikáty vyrábajú s prídavkom PP vlákien v zmysle smernice ÖBV „Vláknobetón“.

Východiskovým bodom zeminového štítu sú šachty stanice „Matzleinsdorfer Platz“. Najprv bude vyrazená rúra č. 2. Po dojazde TBM do cieľovej šachty Augustinplatz bude stroj demontovaný a po znovuzostavení v stanici „Matzleinsdorfer Platz“ bude vyrazená rúra č. 1.

V čase inštalovania zeminového štítu do štartovacej šachty sú už k dispozícii časti tunelového systému, otočný priestor, ako aj tunelové rúry smerom na juh, ktoré boli zhotovené v stavebnom úseku U2/18. V dôsledku toho sú k dispozícii zodpovedajúce plochy pre prípravu staveniska a logistiku dodávky štítu.

Po dokončení raziacich prác bude štít v cieľovej šachte Augustinplatz definitívne demontovaný.

4. PREDBEŽNÉ OPATRENIA

V husto zastavaných oblastiach sa počas celej doby výstavby monitorujú najmä poklesy na povrchu terénu. Intenzívne sa sleduje a zaznamenáva, či sú objekty na povrchu (budovy, infraštruktúra atď.) stabilné s predpokladanými deformáciami spôsobenými výstavbou tunela. Aby bolo možné odhadnúť budúce sadnutia, boli pre predmetný projekt stavby vykonané rozsiahle výpočty. V súvislosti s výsledkami hodnotenia stavu domov boli identifikované miesta/oblasti, pri ktorých sú potrebné opatrenia pred začatím stavebných prác tunela.

4.1 Zosilnenie stavieb

Vzhľadom na veľmi hustú zástavbu a malú hrúbku nadložia v oblasti trasy tunela bolo potrebné urobiť dôkladný monitoring stavieb nachádzajúcich sa v dotknutom území.

Boli zmonitorované základy niekoľkých stoviek budov a definované maximálne prípustné deformácie. Na základe predpokladaných deformácií vzniknutých pri výstavbe tunela bolo potrebné vopred zosilniť okolo 159 budov. Podpornými opatreniami sú: trysková injektáž základov (DSV-Körper), vyrovnanie sadania (pozri nasledujúcu kapitolu), rozšírenie základu, prehĺbenie základu, vybudovanie základovej dosky, vystuženie nosnej konštrukcie alebo kombinácia viacerých opatrení.

4.2 Kompenzácie sadania

Kompenzácie sadania slúžia na včasné vyrovnanie poklesov, ktoré vzniknú počas razenia tunela, aby neboli prekročené prípustné deformácie budovy. Vyrovnanie sadania sa vykonáva kompenzačnou injektážou. Okrem technológie injektáže je integrálnou súčasťou tohto procesu aj meracia technika. Cieľom zmiernenia sadania je zabrániť výskytu poklesov a vzniku rozdielov voči výpočtom, spôsobených razením, alebo ich udržať v rámci stanovených limitov. Pod tlakom zavedená injektážna zmes spôsobí lokálne prerušenie pôdnej matrice podložia. Injektáž suspenzie vedie k zväčšeniu objemu, čo znamená, že podložie je spočiatku lokálne predpäté. Objemové zväčšenie je korigované cez množstvo injektážnej zmesi. Deformácie sa priebežne merajú a zaznamenávajú pomocou elektronických vodováh.

Fig. 5). In case of unfavourable geology and/or to minimise settlement of the terrain surface, face protection measures (e.g. anchors ahead of the face, low-pressure grouting) can be used. The length of the excavation round in unconsolidated ground is usually equal to 0.80–1.20m. Appropriate face support is provided during excavation. An unreinforced shotcrete layer 5–10cm thick and, depending on the geology, a support core, stepped excavation face and/or self-drilling needles (Fig. 6) can be added.

An extensive program of geotechnical measurements monitors the tunnelling process and, if necessary, the outputs provide the basis for decisions on further excavation with regard to the type of excavation and the load bearing and securing means used.

Tunnel tubes between stations and outside the turning back system are excavated by an earth pressure balance TBM. In this type of tunnel excavation, loamy emulsion made of excavated material serves as a plastic carrier medium. It allows for the necessary equalisation of the pressure ratio on the excavation face, prevents uncontrolled penetration of soil into the machine and creates conditions for fast excavation without settlement of the overburden.

The construction of continuously produced tunnel tubes is carried out by means of pre-cast reinforced concrete parts (segments), which are installed as protection to the protected space formed by the shell of the shield. Due to fire protection, pre-cast reinforced concrete segments are produced with the addition of PP fibres in accordance with the ÖBV “Fibre Reinforced Concrete” Directive.

The EPB TBM excavation starts from the shafts of the “Matzleinsdorfer Platz” station. The tunnel tube No. 2 will be excavated first. After the TBM reaches the Augustinplatz target shaft, the machine will be dismantled and, after being reassembled at the “Matzleinsdorfer Platz” station, tunnel tube No. 1 will be excavated.

At the time of installing the EPB TBM in the launching shaft, parts of the tunnel system, the turning-back space as well as the south heading tunnel tubes, which were constructed in the construction section U2/18, are already available. As a result, adequate areas are available for site preparation and EPB TBM delivery logistics.

After the excavation work is completed, the EPB TBM in the Augustinplatz target shaft will be definitively dismantled.

4. PRELIMINARY MEASURES

In densely developed areas, subsidence of the terrain surface is mainly monitored throughout the construction period. Structures on the surface (buildings, infrastructure, etc.) are intensely monitored and recorded whether they are stable with the assumed deformations caused by the tunnel construction maintained. Extensive calculations were performed for the construction design in question in order to allow for the estimation of future settlement. In connection with the results of the assessment of the buildings condition, places/areas were identified where measures are necessary before the start of construction work on the tunnel.

4.1 Strengthening of buildings

With respect to the very dense development and the small thickness of the overburden in the area along the tunnel route, it was necessary to carry out thorough monitoring of the structures located in the affected area.

The foundations of several hundred buildings were monitored and the maximum allowable deformations were defined. Based on the assumed deformations developed during the construction of the tunnel, it was necessary to strengthen around 159 buildings. There



zdroj: „Združenie U2 17-21“ source: „Consortium U2 17-21“

Obr. 7 Šachta vybudovaná pre kompenzačné vrty sadania ÖBB
Fig. 7 Shaft carried out for ÖBB settlement compensation

Pre stavebnú etapu U2 17-21 boli definované dve kompenzačné polia. Vrtky pre injektážne rúry boli vedené buď zo šácht ÖBB (Rakúska železničná spoločnosť) (obr. 7), alebo z novovytvorených šácht zo striekaného betónu vyrazených za účelom injektáže.

4.3 Zabezpečenie zmrazovaním

Zmrazenie nadložia sa vykonáva v priestore stanice Matzleinsdorfer Platz (U2-18). Služi na dočasné spevnenie horniny a zabezpečuje razenie kaloty pre staničné rúry T1 a T2. Zmrazenie je vo forme polkruhového tvaru a slúži predovšetkým ako predbežné opatrenie na zlepšenie zeminy a v rúre 2 na ochranu proti podzemnej vode, a tým zaistenie bezpečného razenia kaloty. Zabezpečenie výrubu zmrazením tekutým dusíkom je najvhodnejším opatrením najmä z dôvodu okrajových podmienok v oblasti Matzleinsdorfer Platz, ako je trať ÖBB, podjazd popod Gürtel a existujúce železničné mosty ÖBB, kde nie je možné z priestorových dôvodov na povrchu znížiť hladinu podzemnej vody alebo jej tlak (prevádzka ÖBB, U-STRAB, Gürtel a pod.) (obr. 8). Primárnym účelom zmrazovania nadložia pri razení kaloty v tuneloch dvoch staničných rúr T1 a T2 je úprava zeminy na zvýšenie

are the following support measures: jet grouting under foundations (DSV-Körper), compensation for settlement (see the next chapter), widening of foundation, deepening of foundation, construction of a base slab, reinforcement of the load-bearing structure or a combination of several measures.

4.2 Compensation for settlement

Settlement compensations serve to compensate in a timely manner for the subsidence that occurs during tunnel excavation so that the permissible deformations of the building are not exceeded. Settlement compensation is performed by compensation grouting. In addition to grouting equipment, measurement equipment is also an integral part of this process. The objective of mitigation of settlement is to prevent the occurrence of differences in calculations due to tunnel excavation or to keep them within specified limits. The grouting mixture applied under pressure will cause local interruption of the soil matrix under the foundation. The injection of the suspension leads to an increase in volume, which means that the underlying ground is initially locally pre-stressed. The volumetric increase is corrected through the amount of grouting mixture. Deformations are continuously measured and recorded using electronic levels.

Two compensation fields were defined for construction phase U2 17-21. The holes for grouting were drilled either from ÖBB (Austrian Railway Company) shafts (see Fig. 7) or from newly created shotcrete-lined shafts excavated for the purpose of grouting.

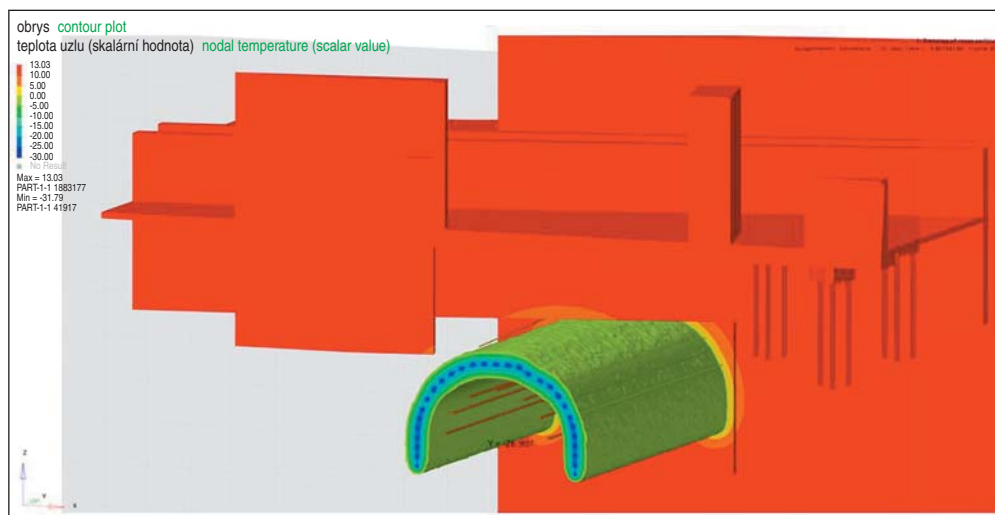
4.3 Securing by freezing

The overburden is being frozen in the Matzleinsdorfer Platz station area (U2-18). Freezing serves to temporarily consolidate the ground and secures the excavation of the calotte for station tubes T1 and T2. Freezing is in the form of a semicircular body and serves primarily as a preliminary measure to improve the soil and, in the tube No. 2, to protect against groundwater, and thus ensure safe excavation of the calotte. Securing the excavation by freezing using liquid nitrogen is the most appropriate measure,



zdroj: „Združenie U2 17-21“ source: „Consortium U2 17-21“

Obr. 8 Zmrazovacie zariadenie tubusu stanice Matzleinsdorferplatz
Fig. 8 Freezing equipment for Matzleinsdorferplatz station



zdroj: „Podklady pre výberové konanie U2 17-21“ source: “Background documents for U2 17-21 tender”

Obr. 9 Schéma zmrazovania tubusu stanice Matzleinsdorferplatz
Fig. 9 Diagram of freezing for Matzleinsdorferplatz station tube

jej súdržnosti, modulu pružnosti a pevnosti v tlaku (v závislosti od teploty). Zmrazené teleso musí v tejto fáze razenia spĺňať statický a tesniaci efekt. Po ukončení razenia bude prevádzka zmrazovacieho systému prerušená. Pre bezprostredne nasledujúce razenie stupňa a spodnej klenby zostáva tesniaci účinok zamrznutého nadložia naďalej, pretože zmrazená zemina sa topí len pomaly (obr. 9).

5. ĎALŠÍ VÝVOJ VÝSTAVBY METRA VO VIENNI

Aktuálne stavebné práce prebiehajú v súlade s harmonogramom. Momentálne prebiehajú špeciálne podzemné práce, šachty sú vo výstavbe, raziaci štít bude hotový na jeseň 2022.

Zatiaľ sa nevyskytli žiadne nepredvídateľné problémy. Stavebné práce sú však ešte len na začiatku.

Mesto Viedeň v súčasnosti plánuje druhú etapu rozširovania U2. V tomto kroku rozširovania sa U2 najskôr predĺži o dve ďalšie stanice z Matzleinsdorfer Platz južným smerom na Wienerberg (Gußriegelstraße, Wienerberg).

Po dokončení prvej stavebnej fázy U5 medzi Frankhplatz a Karlsplatz bude nasledovať ďalšie rozsiahle rozšírenie v smere na Elterleinplatz. V tejto druhej etape rozširovania U5, ktorá je momentálne v záverečnej fáze všeobecného projektového plánovania mesta Viedeň, sa U5 rozšíri o štyri ďalšie stanice (Arne-Karlsson-Park, Michelbeuern-AKH, Elterleinplatz, Hernalis).

Dipl.-Ing. HARALD GLÖSL,

harald.gloesl@porr.at., PORR Bau GmbH,

Ing. LUBICA PIŠŤANSKÁ, lubica.pistanska@porr.sk, PORR s.r.o.

Recenzoval Reviewed: Ing. Vladimír Prajzler

especially because of the boundary conditions in the Matzleinsdorfer Platz area, such as the ÖBB railway line, the Gürtel underpass and the existing ÖBB railway bridges, where groundwater level or pressure cannot be reduced for conditions existing on the surface (operation of ÖBB, U-STRAB, Gürtel, etc.) (see Fig. 8). The primary purpose of freezing the overburden when excavating the calotte in the tunnels of the two station tubes T1 and T2 is to modify the soil to increase its cohesion, modulus of elasticity and compressive strength (depending on temperature). The frozen body has to have a static and sealing effect at this stage of tunnel excavation. After the excavation is completed, the operation

of the freezing system will be interrupted. For the immediately following excavation of the bench and invert, the sealing effect of the frozen overburden remains, because the frozen soil melts only slowly (see Fig. 9).

5. FUTURE DEVELOPMENT OF METRO CONSTRUCTION IN VIENNA

Current construction work is proceeding according to the schedule. Special underground work is currently underway, shafts are under construction; the tunnelling shield will be ready in autumn 2022.

No unpredictable problems have occurred so far. However, construction work is still at its beginning.

The city of Vienna is currently planning the second phase of U2 line expansion. In this expansion step, the U2 line will first be extended by two more stations from Matzleinsdorfer Platz south to Wienerberg (Gußriegelstraße, Wienerberg).

After the completion of the first construction phase of the U5 line between Frankhplatz and Karlsplatz, another large-scale expansion in the direction of Elterleinplatz will follow. In this second phase of U5 line expansion, which is currently in the final phase of general project planning for the city of Vienna, U5 line will be extended by four more stations (Arne-Karlsson-Park, Michelbeuern-AKH, Elterleinplatz, Hernalis).

Dipl.-Ing. HARALD GLÖSL,

harald.gloesl@porr.at., PORR Bau GmbH,

Ing. LUBICA PIŠŤANSKÁ,

lubica.pistanska@porr.sk, PORR s.r.o.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] GLÖSL, H. – Interné dokumenty/fotografie z realizácie fy PORR Bau GmbH.
- [2] Plán rozvoja mesta 2025 – technická koncepcia mobility (Stadtentwicklungsplanes 2025 – Fachkonzept Mobilität) odsúhlasil/ vydal Magistrát mesta Viedeň v roku 2015.
- [3] Smernica: Betón sekundárneho ostenia tunelov Rakúskeho zväzu stavebných inžinierov (Innenschale beton ÖBV).
- [4] Smernica: Vláknobetón Rakúskeho zväzu stavebných inžinierov (Faserbeton ÖBV).
- [5] Smernica: Geotechnické plánovanie podzemných stavieb so súvislým a cyklickým razením tunelov Rakúskej spoločnosti pre geomechaniku (ÖGG) („Richtlinie für geotechnische Planung von Untertagebauwerken mit kontinuierlichem und zyklischem Vortrieb“ der Österreichischen Gesellschaft für Geomechanik ÖGG).
- [6] RVS 09.01.42 Uzavretá konštrukcia pri výstavbe vo voľnej hornine Rakúskej výskumnej spoločnosti pre cestnú/železničnú dopravu (FSV) (Richtlinien für Verkehrs- und Straßenbau 09.01.42 „Geschlossene Bauweise im Lockergestein unter Bebauung“ der Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße/Schiene/Verkehr (FSV)).

PREČERPÁVACIA STANICA MUSAIMEER S ODTOKOVÝM TUNELOM – VYUŽITIE METÓDY BIM PRI REALIZÁCIÍ VEĽKÝCH PROJEKTOV MUSAIMEER PUMPING STATION WITH OUTFALL TUNNEL – USE OF THE BIM METHOD DURING THE CONSTRUCTION OF LARGE PROJECTS

PAVEL ZUZULA, LUBICA PIŠŤANSKÁ

ABSTRAKT

Projekt Musaimeer Pumping Station & Outfall Tunnel (MPSO) je jeden zo strategických projektov emirátu Katar. Prečerpávacia stanica je prepojením medzi tunelom Abu Hamour (AHSO) odvádzajúcim vodu z drenážneho systému južnej časti hlavného mesta Dohá a jedným z najdlhších odtokových tunelov pre dažďovú vodu pod dnom Perzského zálivu. Odtokový tunel sa na konci napája do výpustnej šachty, difúzneho poľa vybudovaného na morskom dne. Dôvodom výstavby bolo nahradenie pôvodnej kanalizačnej sústavy, ktorá nebola schopná zabezpečiť odvodnenie územia v dobe príválových dažďov. Preto sa v niektorých častiach mesta vyskytovali záplavy. MPSO zabezpečí odvedenie povrchovej a dažďovej vody z územia o rozlohe 170 km² a nahradí desiatky čerpacích staníc na rôznych miestach mesta, čím sa znížia náklady na údržbu a prevádzku. Článok popisuje využitie metódy BIM pri tomto rozsiahlom stavebnom diele od projektu až po odovzdanie investorovi. Predstavuje tiež riešenie napojenia odvodného tunela a výpustnej šachty difúzneho poľa metódou BIM, ktoré bolo jednou z najväčších výziev pri realizácii.

ABSTRACT

The Musaimeer Pumping Station & Outfall Tunnel (MPSO) project is one of the strategic projects of the Emirate of Qatar. The pumping station is a link between the Abu Hamour Tunnel (AHSO), which drains water from the drainage system in the southern part of the capital Doha, and one of the longest rainwater outfall tunnels below the Persian Gulf seabed. At the end, the outfall tunnel feeds into the riser shaft, a diffuser field built on the seabed. The reason for the construction was the replacement of the original sewerage system, which was not able to ensure drainage of the area, and therefore, floods occurred in some parts of the city during the torrential rains. MPSO will ensure the drainage of the surface water and the rain water from an area of 170 km² and will replace dozens of pumping stations in various parts of the city, thus reducing maintenance and operating costs. The article describes the use of the BIM method in this extensive construction work from the design to the handover to the investor. It also represents a solution for the connection of the outfall tunnel and the diffuser field the riser shaft using the BIM method, which was one of the biggest challenges during the construction.

1. ÚVOD

V roku 2017 získal investor ocenenie projektu MPSO za celosvetovo najlepší projekt v kategórii odpadových vôd počas udeľovania cien Engineering News Record (ENR) Global Best Projects Awards v New Yorku. Okrem tohto ocenenia získal zhotoviteľ projektu MPSO v roku 2021 hodnotenie 73 % – veľmi dobrý – v schéme medzinárodného hodnotenia udržateľnosti CEEQUAL (Civil Engineering Environmental Quality Assessment and Award Scheme).

Podmienkou účasti v súťaži, ako pri všetkých nových projektoch v Katar, bolo spracovanie projektu metódou BIM. V emiráte Katar sa jedná o štandardný prístup, pretože BIM model nie je vnímaný len ako súčasť projektovej dokumentácie; jedná sa o proces vytvárania a spravovania dát o stavbe počas jej životného cyklu, pričom zjednodušuje prístup k informáciám, konštrukciám a údržbe objektov stavby.

2. ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE O PROJEKTE

Investor: ASHGHAL Dohá (Zadávatel' infraštruktúrnych projektov emirátu Katar)
Stavebný dozor investora (PMC): Mott MacDonald
Realizátor: Združenie Hamad Bin Khalid Contracting a PORR Qatar Construction (JV HBK-PORR)
Projektant: COWI (čerpacia stanica a technológia), VCE (tunel a difúzne pole)
Celková cena: 214 mil. eur

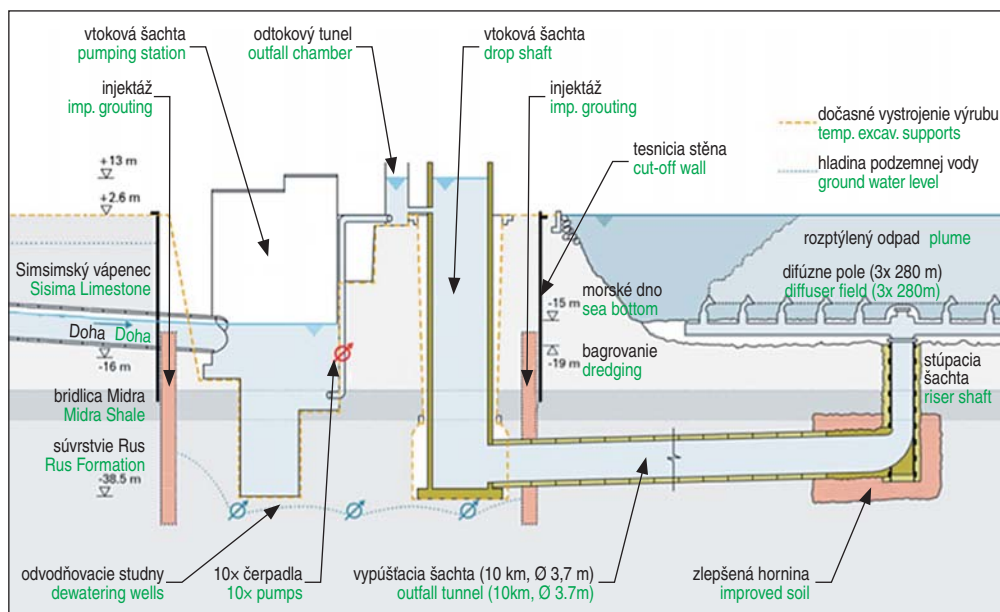
1. INTRODUCTION

In 2017, the investor received the MPSO project award for the world's best project in the wastewater category during the Engineering News Record (ENR) Awards at the Global Best Projects Awards in New York. In addition to this award, the contractor of the MPSO project received a rating of 73% in 2021 – very good – in the CEEQUAL (Civil Engineering Environmental Quality Assessment and Award Scheme).

The condition for participation in the competition, as with all new projects in Qatar, was the processing of the project by the BIM method. In the emirate of Qatar, this is a standard approach, as the BIM model is not perceived only as part of the project documentation; it is a process of creating and managing construction data during its life cycle, while simplifying access to information, structures, and maintenance of construction objects.

2. BASIC INFORMATION ABOUT THE PROJECT

Investor: ASHGHAL Doha (Client of infrastructure projects of the Emirate of Qatar)
Investor Construction Supervision (PMC): Mott MacDonald
Contractors: Joint venture of Hamad Bin Khalid Contracting and PORR Qatar Construction (JV HBK-PORR)
Designer: COWI (pumping station and technology), VCE (tunnel and diffuser field)
Total price: 214 mil. eur



Obr.1 Schéma projektu (pozdĺžny rez)
Fig. 1 Project scheme (longitudinal section)

Typ zmluvy: Naprojektuj a postav („design and build“); zmluva s lokálnymi podmienkami

Začiatok výstavby: november 2017

Ukončenie výstavby: apríl 2022

Rozsah prác projektu zahŕňal návrh a výstavbu čerpacej stanice, výstavbu 10 km odtokového tunela s vnútorným priemerom 3,7 m vedúcim pod morským dnom a jeho napojenia na výpustnú šachtu difúzneho poľa (obr. 1).

Stavba sa nachádza bezprostredne južne od medzinárodného letiska Hamad International Airport, priamo na pobreží Perzského zálivu, kde sa napája na 9,5 km dlhý tunel Abu Hamour (AHSO) vybudovaný v roku 2016 (obr. 2). Tento tunel prepravuje dažďovú vodu zhromaždenú na juhu a západe hlavného mesta Dohá do čerpacej stanice zo záchytnej oblasti s celkovou rozlohou približne 170 km², pričom sa naň napája aj ďalších 22 tunelov.

Úlohou čerpacej stanice s max. kapacitou 19,7 m³/s bude prečerpávať vody z tunela Abu Hamour (AHSO) do nadväzujúceho odtokového tunela a následne do difúzneho poľa (obr. 3).

Difúzne pole sa rozprestiera na morskom dne na ploche 300 m × 50 m. Je tvorené potrubím s priemerom 2000, 1400, 1200 a 710 mm. Výpuste sú uložené v chráničkách odolných voči oderu.

Výpustná šachta je vyrobená so sklolaminátu (GRP) dĺžky 10,1 m s priemerom 3 m.

3. RAZENIE TUNELA

Raziace práce zahŕňali výstavbu odtokového tunela dĺžky 10 158 m. S predĺžením o úsek 31 m z dôvodu servisných činností dosiahla celková dĺžka podmorského tunela 10 189 m. Podlažie tunela sa skladá z troch rozdielnych typov hornín (viz nižšie) a z hydrogeologického hľadiska sú jednotlivé vrstvy vysoko priepustné.

Trasa tunela prechádzala cez tri rôzne typy hornín, ktoré sa bežne vyskytujú na Katarskom polostrove. Vápence sú rozdelené na tri skupiny, súvrstvie Rus, bridlice Midra a vápence Simsima.

Contract type: Design and build; agreement with local conditions

Start of construction:

November 2017

Completion of construction:

April 2022

The scope of the project included the design and construction of a pumping station, the construction of a 10km outfall tunnel with an internal diameter of 3.7m leading under the seabed and its connection to the diffuser field riser shaft (Fig. 1).

The structure is located immediately south of Hamad International Airport, directly on the shores of the Persian Gulf, where it feeds into the 9.5km long Abu Hamour Tunnel (AHSO) built in 2016 (Fig. 2). This tunnel transports rainwater collected in the south and west of the capital

Dohá to a pumping station from a catchment area with a total area of approximately 170km², while it is also fed by another 22 tunnels.

The role of the pumping station with max. capacity of 19.7m³/s will be to pump water from the Abu Hamour Tunnel (AHSO) to the adjoining outfall tunnel and subsequently to the diffuser field (Fig. 3).

The diffuser field extends on the seabed on an area of 300m × 50m. It consists of pipes with a diameter of 2000, 1400, 1200 and 710mm. Drains are stored in abrasion-resistant sleeve casings.

The riser shaft is made of fiberglass (GRP) length 10.1m with a diameter of 3m.

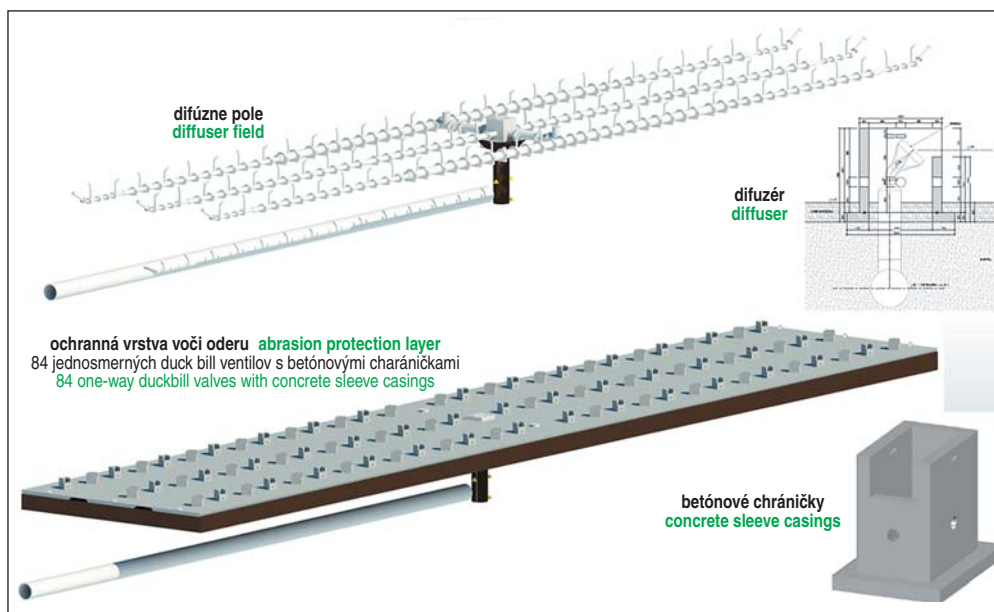
3. TUNNEL EXCAVATION

The excavation works included the construction of a 10,158m long outfall tunnel. With an extension of 31m due to service activities, the total length of the undersea tunnel reached 10,189m. The ground of the tunnel consists of three different types of rocks (see below) and from a hydrogeological point of view, the individual layers are highly permeable.

The route of the tunnel passed through three different types of rocks that commonly occur on the Qatar Peninsula. Limestones are divided into three groups, the Rus formation, the Midra shale and the Simsima limestone.



Obr. 2 Situácia
Fig. 2 Situation



Obr. 3 Difúzne pole
Fig. 3 Diffuser field

- Súvrstvie Rus možno charakterizovať ako veľmi slabý až slabý svetlohnedý jemnozrný vápenec, prekladaný veľmi slabým svetlozelenosivým ílovcom s ojedinelými žilkami sadrovca.
- Bridlica Midra je veľmi slabá až slabá žltohnedá jemnozrná bridlica prekladaná slabým až stredne silným bielym až svetlosivým vápencom s občasnými konkréciami sadrovca.
- Simsimský vápenec je slabý až stredne silný svetlosivý až biely jemnozrný dolomitický vápenec s občasnými konkréciami sadrovca.

Z hydrologického hľadiska sú najdôležitejšie vodonosné vrstvy na rozhraní simsimského vápenca a midrašských bridlíc a na rozhraní midrašských bridlíc a súvrstvia Rus, kde je prietočnosť v oboch prípadoch veľmi vysoká.

Tunel bol razený zeminovým štítom od čínskeho výrobcu CREG s priemerom 4,43 m. Navrhnuté bolo prefabrikované segmentové ostenie, typ 6+0, s hrúbkou 22 cm a dĺžkou prstenca 1,3 m. Na výrobu segmentov bol použitý betón s rozptýlenou oceľovou výstužou. Vzhľadom k malému priemeru tunela bola okrem nerovnorodnej geológie veľmi dôležitá aj logistika odvozu výrubu a dovozu segmentov ostenia, ktorá bola zabezpečená kolajovou dopravou pomocou diesel lokomotívy.

4. POUŽITÉ KROKY BIM NA PROJEKTE POČAS VÝSTAVBY

Zhotoviteľ zriadil „Technický tím združenia projektu“ a vypracoval spoločné dátové prostredie CDE (Common Data Environment) pre návrh, realizáciu, prevádzku a údržbu zariadenia (obr. 4).

Pred začatím prác sa vytvorilo funkčné prepojenie (interface) so všetkými externými zainteresovanými stranami vrátane tunela Abu Hamour, medzinárodného letiska Hamad a ekonomickej štvrte Manateq Ras Bufontas.

Modely BIM boli vytvorené z programu REVIT. Program Navisworks NWD sa používal na detekciu kolízií.

Proces bol nasledujúci:

Modely boli vytvorené v programe REVIT V2018. Pre MPSO bolo vytvorených 28 modelov Revit. Z Revitu sa extrahovali modely vo formáte NWC a ukladali sa vo formáte NWD. Tieto modely vo formáte FWD sa skombinovali a vytvorili čiastkový model NAVISWORKS. Pre MPSO boli vytvorené tri modely Navisworks:

1. prečerpávací stanica a šachta;
2. odtokový tunel a difúzne pole s výpustnou šachtou;
3. kombinovaný model (zahŕňajúci všetko vrátane obslužných zariadení, inžinierskych sietí, atď.).

- The Rus formation can be characterized as very weak to weak, light brown fine-grained limestone, interspersed with very weak light green-gray claystone with isolated gypsum veins.

- Midra Shale is a very weak to weak yellow-brown fine-grained shale interspersed with weak to medium-thick white to light gray limestone with occasional gypsum concretions.

- Simsim limestone is a weak to medium-thick light gray to white fine-grained dolomitic limestone with occasional gypsum concretions.

From a hydrological point of view, the most important aquifers are at the interface of Simsim limestone and Midrash shale and at the interface of Midrash shale

and Russian formation, where the flow rate is very high in both cases.

The tunnel was excavated with a soil shield from the Chinese manufacturer CREG with a diameter of 4.43m. A prefabricated segment lining, type 6 + 0, with a thickness of 22cm and a ring length of 1.3m was designed. Concrete with fiber steel reinforcement was used for the production of the segments. Due to the small diameter of the tunnel, in addition to the heterogeneous geology, the logistics of the muck removal and the import of the lining segments, which was provided by rail using a diesel locomotive, were also very important.

4. BIM STEPS USED IN THE PROJECT DURING CONSTRUCTION

The contractor set up the “Technical team of the project joint venture” and developed a common data environment CDE (Common Data Environment) for the design, construction, operation and maintenance of the facility (Fig. 4).

Prior to the start of the work, a functional interface was established with all external stakeholders, including the Abu Hamour Tunnel, Hamad International Airport and the Manateq Ras Bufontas economic district.

BIM models were created using the REVIT program. Navisworks NWD was used to detect collisions.

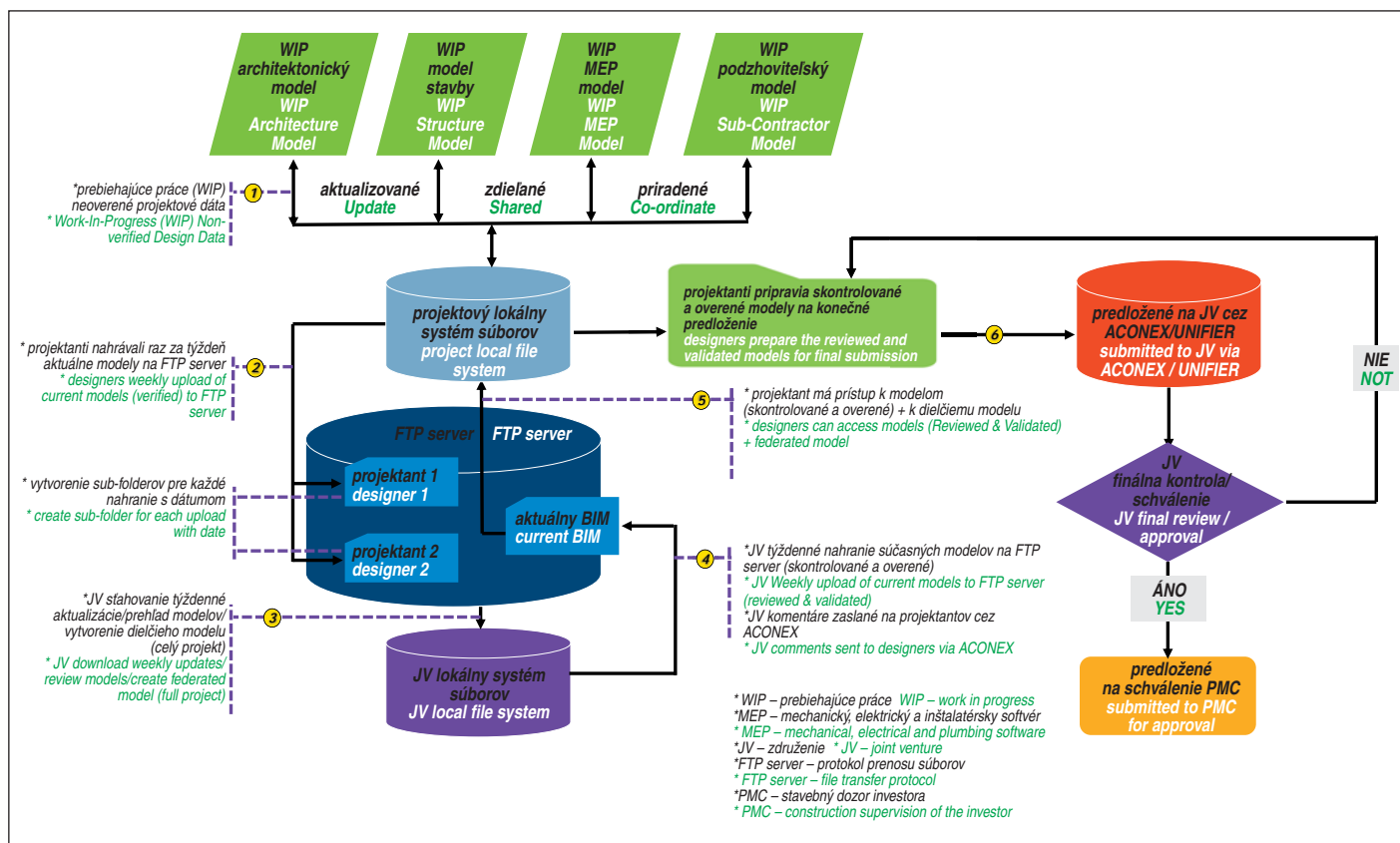
The process was as follows:

The models were created in the REVIT V2018 program. 28 Revit models were created for MPSO. Models in NWC format were extracted from Revit and saved in NWD format. These FWD models have been combined to form the NAVISWORKS sub-model. 3 Navisworks models were created for MPSO:

1. pumping station and shaft;
2. outfall tunnel and diffuser field with riser shaft;
3. combined model (including everything including service facilities, engineering utilities, etc.).

4.1 Technical team of the project joint venture

“The technical team of the project joint venture”, which consisted of the investor’s representatives, the investor’s construction supervision, the designer, the contractor, the project documentation coordinator and the BIM manager (employee of the



Obr. 4 Spoločné prostredie údajov – CDE

Fig. 4 Common Data Environment – CDE

4.1 Technický tím združenia projektu

„Technický tím združenia projektu“, ktorý bol zložený zo zástupcov investora, stavebného dozora investora, projektanta, realizátora, koordinátora projektovej dokumentácie a BIM manažéra (zamestnanec realizátora), mal za úlohu počas celej doby výstavby:

- udržiavať a neustále aktualizovať pôvodný východiskový súbor informačného modelu v jednotlivých fázach projektu až po fázu realizácie vrátane uloženia dát do dátového výmenného štandardu COBie (Construction-Operations Building information exchange);
- vypracovať 3D model (úroveň podrobnosti použitých dát LoD 350) LoD = grafická a informačná podrobnosť modelu) v každej fáze prác a príslušných výstupov; formát výstupných údajov – .rvt, .nwd, .nwc, atď.;
- zodpovednosť za poskytovanie všetkých aktualizovaných informácií v BIM, 2D/3D výkresoch a iných predkladaných dokumentoch a modeloch;
- koordinovať zistenia zo správ o identifikácii kolízií prostredníctvom čiastkových modelov, zabezpečovať súlad BIM s realizáciou a BIM projektami a súvisiacimi dokumentami;
- vytvárať platformu pre spoluprácu, integráciu a koordináciu všetkých spolupracujúcich subjektov.

Hlavnými povinnosťami BIM manažéra v realizácii projektu boli:

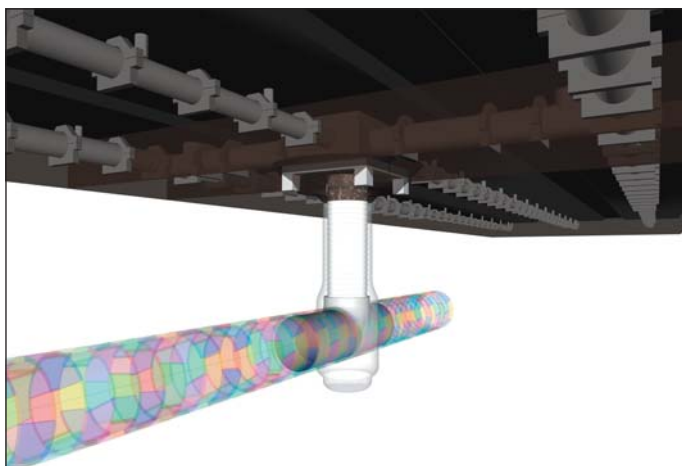
- definovať vzájomné konflikty pri výstavbe porovnaním 3D modelu a ich odstránenie ešte pred začatím výstavby;
- aktualizovať a koordinovať realizačné výkresy (detaily, rezy) vytvárané z 3D modelu do 2D dokumentácie;
- vytvárať virtuálne makety; napríklad vytvorenie veľmi podrobného modelu vybratej časti projektu na analýzu alternatív a vyriešenie konštrukčných problémov, ako napríklad riešenia prepojenia tunela vyrazeného EPB štítom a výpustnej šachty difúzneho poľa (kapitola 5).

contractor), had the following tasks throughout the construction period:

- maintain and constantly update the original initial file of the information model in the individual phases of the project up to the construction phase, including the storage of data in the COBie (Construction-Operations Building information exchange) data exchange standard;
- develop a 3D model (level of detail of the data used LoD 350) LoD = graphical and information detail of the model) at each stage of the work and the relevant outputs; output data format – .rvt, .nwd, .nwc, etc.;
- responsibility for providing all updated information in BIM, 2D / 3D drawings and other submitted documents and models;
- coordinate findings from collision identification reports through sub-models, ensure BIM compliance with construction and BIM projects and related documents;
- create a platform for cooperation, integration and coordination of all cooperating entities

The main duties of the BIM manager during the project construction were:

- define mutual conflicts during construction and their elimination before the start of construction by comparing the 3D model;
- update and coordinate drawings for construction (details, sections) created from the 3D model into 2D documentation;
- create virtual mock-ups; for example, the creation of a very detailed model of a selected part of the project to analyze alternatives and solve construction problems, such as the solution of the connection between the tunnel excavated by the EPB shield and the diffuser field riser shaft (Chapter 5).



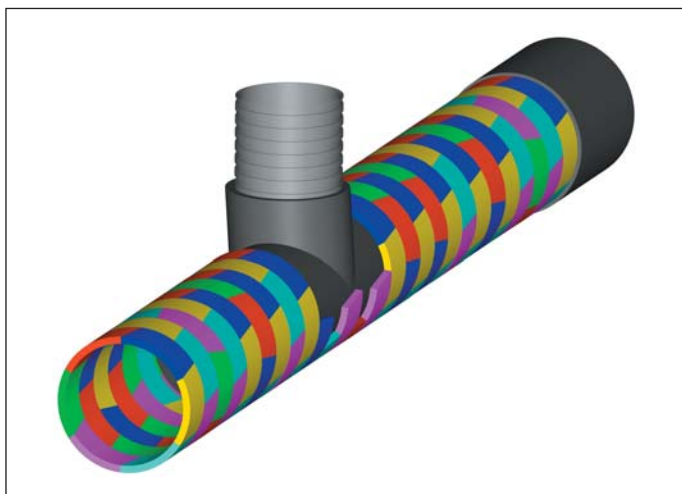
Obr. 5 Napojenie odtokového tunela a výpustnej šachty difúzneho pola
Fig. 5 Connection of the outfall tunnel and the diffuser field riser shaft

5. TECHNICKÉ RIEŠENIA POMOCOU BIM – PREPOJENIE ODTOKOVÉHO TUNELA A VÝPUSNEJ ŠACHTY DIFÚZNEHO POLA

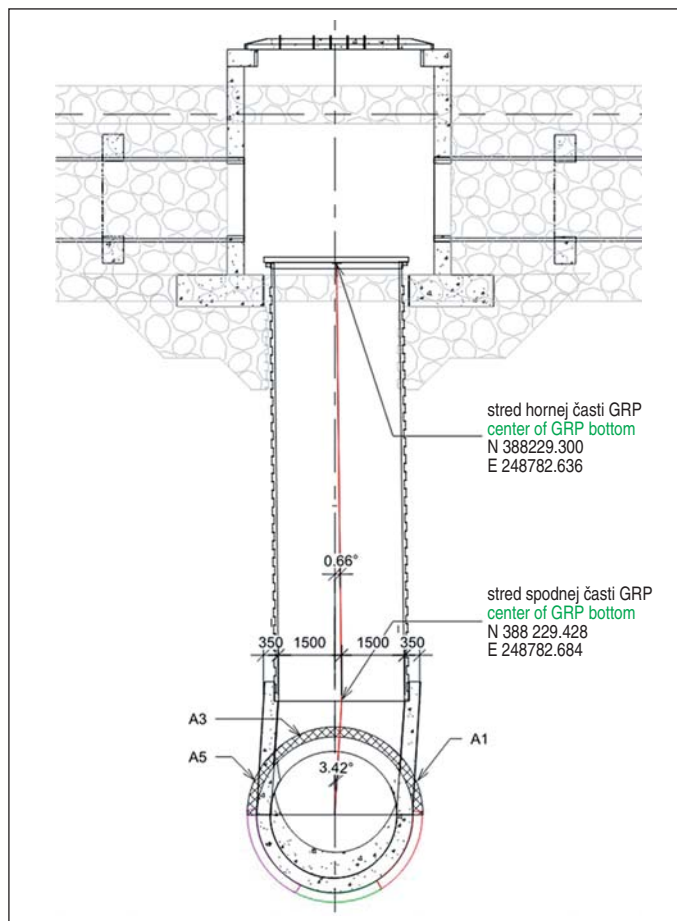
Jednou z hlavných výziev počas výstavby bolo definovať presnú geometriu prepojenia novovybudovanej výpustnej šachty a odtokového tunela.

Táto problematika riešenia bola presne determinovaná práve vďaka BIM modelu postupnou aktualizáciou údajov získavaných geodetickým zameraním zo skutočnej realizácie stavby. Geologické podmienky neumožňovali vytýčenie podľa projektovej dokumentácie, bolo preto potrebné robiť úpravy za pochodu a následne ich zapracovávať do nového BIM modelu objektu a špecifikovať dotknuté segmenty ostenia tunela:

- priestorové súradnice osi výpustnej šachty v hornej časti a osi v spodnej časti ako 3D línia v CAD formáte (obr. 5);
- vzhľadom na malý rozdiel osi výpustnej šachty oproti projektu bolo potrebné prepracovať tvar debnenia a skladbu výstuže prepojenia;
- pomocou metódy 3D modelovania bolo možné vytvoriť presný tvar, ktorý lícovail s dnom výpustnej šachty a so zrealizovaným odtokovým tunelom, aj keď ich osi neboli v predpokladanej línii (obr. 6);
- zhotoviteľ použil 3D model a extrahované 2D výkresy na prípravu debnenia pre realizáciu monolitckej betónovej konštrukcie prepojenia;



Obr. 7 3D model prepojenia
Fig. 7 3D model of the connection



Obr. 6 Posun osi výpustnej šachty proti projektu
Fig. 6 Shifting of the riser shaft axis in comparison to the project

5. TECHNICAL SOLUTIONS USING BIM – CONNECTION OF OUTFALL TUNNEL AND DIFFUSER FIELD RISER SHAFT

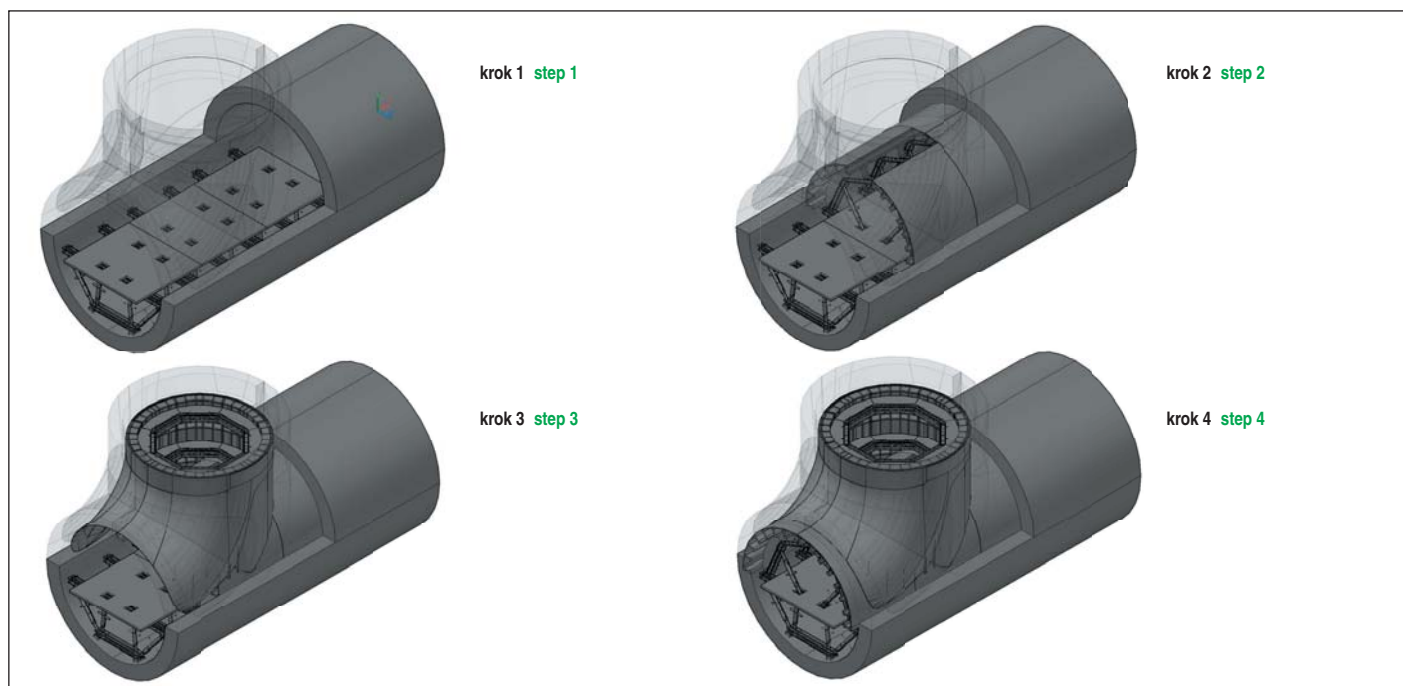
One of the main challenges during construction was to define the exact geometry of the connection between the newly built riser shaft and the outfall tunnel.

Those solution issues were precisely determined thanks to the BIM model by gradual updating of data obtained by geodetic survey from the actual construction. Geological conditions did not allow for delineation according to the project documentation, so it was necessary to make adjustments on the go, and then incorporate them into the new BIM model of the structure and specify the affected segments of the tunnel lining:

- spatial coordinates of the axis of the riser shaft in the upper part and the axis in the lower part as a 3D line in CAD format (Fig. 5);
- due to the small difference in the axis of the riser shaft compared to the project, it was necessary to rework the formwork shape and the reinforcement composition of the connection;
- using the 3D model, it was possible to create an exact shape that matched the bottom of the riser shaft and the realized outflow tunnel, even if their axes were not in the assumed line (Fig. 6);
- the contractor used the 3D model and the extracted 2D drawings to prepare the formwork for the realization of the monolithic concrete connection structure;
- also the monolithic connection of the tunnel and the riser shaft was realized on the basis of the 3D model data (Fig. 7).

Project realization– construction drawings

The BIM model for construction drawings was used for all details, for elements realized in-situ, formwork and reinforcement. The details were developed in a 3D model and updated in LoD 350



Obr. 8 3D model podrobného postupu výstavby prepojenia v krokoch
Fig. 8 3D model of connection working sequences in detail

- rovnako monolitické napojenie tunela a výpustnej šachty bolo zrealizované na základe údajov 3D modelu (obr. 7).

Realizačný projekt – výrobné výkresy

BIM model pre výrobné výkresy bol použitý pre všetky detaily, pre prvky realizované in-situ, debnenie a výstuž. Detaily boli vyvinuté v 3D modeli a aktualizované v LoD 350, aby sa tak určilo rozhranie medzi jednotlivými profesiami, ktoré poskytli množstvo detailov na vytvorenie základnej geometrie a kontrolu súradnicového systému.

Údaje z 3D boli prepojené s harmonogramom v programe Primavera a vytvorili základ pre 4D (realizačnú) fázu BIM, ktorá slúžila na sledovanie priebehu výstavby.

Postup výstavby zachytávajú obr. 8 až 10.

6. ZÁVER

Cieľom BIM modelu je nájsť chyby, ušetriť čas, poskytnúť realistický model v každom kroku a znížiť náklady ešte pred výstavbou. Práca so skúseným tímom prináša hodnotu investorovi, realizačnej

to define the interface between the professions, which provided a lot of detail to create the basic geometry, and for the control of the coordinate system.

The 3D data were linked to the schedule in the Primavera program and formed the basis for the 4D (construction) phase of BIM, which was used to monitor the progress of construction.

The construction process is captured in Fig. 8 to 10.

6. CONCLUSION

The goal of the BIM model is to find errors, save time, provide a realistic model at every step and reduce costs before construction. Working with an experienced team brings value to the investor, the contractor and overall increases efficiency in construction as such.

After creating the basic 3D model and its subsequent models, it is possible to obtain a tool that can be used in a wide range, from the preparation of project documentation to the analysis of real operation, from collision detection to automatic generation of bill of quantity documents to estimate construction costs.

In the construction process, both the investor and the contractor benefit from cost savings and optimization of production processes in the area of time management. With the correct use of the BIM model, the final construction product will be produced in higher quality thanks to the amount of information that is captured in the construction process. Another advantage is the possibility of online access to project documentation – at any time at different facilities and in different places, whether during meetings with stakeholders or directly on the construction site.

The future in construction is undoubtedly based on cooperation and digitization, as evidenced not only by the project presented, but also by other projects in Slovakia and abroad. As BIM becomes more sophisticated, 4D simulation (to optimize workflow), 5D (to estimate costs) and even 6D (sustainability – energy assessment in the design and operation phases), its benefits have already been understood by investors and architects. BIM allows architects to anticipate



Obr. 9 Výstuž ostenia prepojenia
Fig. 9 Lining reinforcement of the connection

spoločnosti a celkovo zvyšuje efektívnosť pri výstavbe ako takej.

Po vytvorení základného 3D modelu a jeho následných modelov je možno získať nástroj, ktorý možno použiť širokospektrálne, od prípravy projektovej dokumentácie až po analýzu reálnej prevádzky, od detekcie kolízií až po automatické generovanie výkazov výmer na odhad stavebných nákladov.

V procese výstavby investor aj zhotoviteľ profitujú z úspor nákladov a optimalizácie výrobných procesov v oblasti riadenia času. Pri správnom použití BIM modelu bude konečný stavebný produkt vyrobený vo vyššej kvalite vďaka množstvu informácií, ktoré sa v procese výstavby zachytia. Ďalšou výhodou je možnosť online prístupu ku projektovej dokumentácii – kedykoľvek na rôznych zariadeniach a na rôznych miestach, či už počas stretnutí so zainteresovanými stranami alebo priamo na stavbe.

Budúcnosť v stavebníctve je nepochybne založená na spolupráci a digitalizácii, čoho dôkazom je nielen prezentovaný projekt, ale aj ďalšie projekty na Slovensku a v zahraničí. Ako sa BIM stáva čoraz sofistikovanejším, 4D simulácia (na optimalizáciu postupnosti prác), 5D (na odhad nákladov) a dokonca aj 6D (udržateľnosť – energetické hodnotenie vo fáze projektovania a prevádzky), jeho výhody už pochopili aj investori a architekti. BIM umožňuje architektom predvídať potenciálne stavebné nebezpečenstvá a predchádzať im úpravou návrhu ešte dlho pred realizáciou.

A práve preto pri výstavbe prečerpávacej stanice MPSO realizátor využil všetky výhody BIM modelu pri výstavbe, a to hlavne:

- Vytvorenie informačného modelu objektu s databázou vlastností a harmonogramov na základe poskytnutých plánov v CAD formáte.
- Riešenie problémov možných kolízií; pomocou modelov Navisworks NWD slúžil BIM model na odstránenie veľkých systémových konfliktov pred fázou výstavby.
- 4D simulácia sa používala na optimalizáciu postupnosti prác, ako aj počas celej fázy výstavby, aby realizačné tímy mali jasnú predstavu o tom, čo treba v akej postupnosti a nadväznostiach realizovať.
- Počas celej výstavby sa používal BIM model na pravidelnú kontrolu so zainteresovanými stranami a koordináciu revízií.
- Použitie 5D na odhad nákladov, ktorý sa použil ako nástroj na generovanie zoznamu jednotlivých častí z Revitu do súborov Excel, kde bola pridaná kalkulácia, ktorá sa použila ako podporný dokument pre sekundárnu kontrolu odhadu nákladov a presnú evidenciu skonštruovaného majetku pri odovzdaní vrátane všetkých informácií potrebných na prevádzku a údržbu.

BIM je dlhodobá investícia. Na začiatku vysoká, ale akonáhle je proces zavedený, veľa práce je možné replikovať z jedného projektu do druhého. Preto je výhodou každého investora si pre realizáciu stavby zvoliť spoločnosť, ktorá už skúsenosti so zavedeným systémom BIM má. Každý nasledujúci projekt má potom úžitok z predchádzajúceho.

*Ing. PAVEL ZUZULA, pavel.zuzula@porr.sk,
Ing. LUBICA PIŠŤANSKÁ, lubica.pistanska@porr.sk,
PORR s.r.o.*

Recenzoval *Reviewed:* Ing. Jan Korejčík



Obr. 10 Betonáž prepojenia

Fig. 10 Concrete casting of the connection

potential construction hazards and prevent them by modifying the design long before construction.

And that is why during the construction of the MPSO pumping station, the contractor utilized all the advantages of the BIM model during construction, mainly:

- Creation of an information model of the structure with a database of properties and schedules based on the provided plans in CAD format.
- Troubleshooting Clash Detection; using Navisworks NWD models, the BIM model was used to eliminate major system conflicts before the construction phase.
- 4D simulation was used to optimize the sequence of work, as well as throughout the construction phase, so that the construction teams have a clear idea of what needs to be realized in what sequence and continuity.
- Throughout construction, the BIM model was used for regular stakeholder inspections and coordination of revisions.
- Use of 5D for cost estimation, which was used as a tool to generate a list of individual parts from Revit to Excel files, where a cost calculation was added, which was used as a supporting document for secondary cost estimation control and accurate records of constructed assets at handover, including all necessary information for operation and maintenance.

BIM is a long-term investment. High at first, but once the process is in place, a lot of work can be replicated from one project to another. Therefore, it is the advantage of every investor, for the execution of the construction, to choose a company that already has experience with the established BIM system. Each subsequent project then benefits from the previous one.

*Ing. PAVEL ZUZULA, pavel.zuzula@porr.sk,
Ing. LUBICA PIŠŤANSKÁ, lubica.pistanska@porr.sk,
PORR s.r.o.*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Interné dokumenty/fotografie z realizácie fy JV HBK-PORR
- [2] Geotechnical Aspects of Sub-Sea Tunnelling on the Musaimmer Pumping Station and Outfall Tunnel Project (civilnova.com)

VÝZNAMNÉ ZMĚNY V NADLOŽÍ HISTORICKÝCH VINOHRADSKÝCH TUNELŮ

SIGNIFICANT CHANGES IN THE OVERBURDEN OF HISTORIC VINOHRADY TUNNELS

JIŘÍ BARTÁK

ABSTRAKT

Po zbourání brutalistní stavby Transgasu na Vinohradské třídě v Praze, jehož objekty byly situovány nad historickými Vinohradskými tunely II a III, bude ve vzniklé proluce realizováno Administrativní centrum Vinohradská a dostavba objektu č. p. 345 „Nad Muzeem“. Oba objekty mají základovou spáru bezprostředně nad ostěním stávajících tunelů. Odlehčení způsobené zbouráním Transgasu, následné vyhloubení stavební jámy a přitížení novými objekty vyvolává specifickou odezvu u obou tunelů. Příspěvek stručně popisuje historii Vinohradských tunelů, dále hlavní fáze výstavby, charakter a velikost deformačního ovlivnění kamenné kvádřové obzdvíčky obou tunelů.

ABSTRACT

After the demolition of the Transgas complex of brutalist-style buildings on Vinohradská Třída Street in Prague, which were located above the historic Vinohrady Tunnels II and III, the Vinohradská Administrative Centre and the addition to “Nad Muzeem No. 345” building will be built in the resulting vacancy. The foundation level of both buildings is found immediately above the lining of the existing tunnels. The unloading caused by the demolition of the Transgas buildings, the subsequent excavation of the construction pits and the loading exerted by new structures provokes a specific response at both tunnels. The paper briefly describes the history of the Vinohrady tunnels, as well as the main construction phases and the nature and magnitude of the deformational effect on the stone ashlar masonry lining of both tunnels.

STRUČNÁ HISTORIE VÝSTAVBY VINOHRADSKÝCH TUNELŮ

Vinohradský tunel I byl otevřen v roce 1871 jako podstatná součást jednokolejné dráhy Františka Josefa I., která vedla z Vídně, přes dolnorakouský Gmünd, do Prahy. Tunel délky 1 146 m byl vybudován klasickou rakouskou soustavou během dvou let (1869–1871), v obtížných podmínkách pod poměrně hustou zástavbou tehdejších Vinohrad, což se neobešlo bez poškození řady objektů. V průběhu dalších dvaceti let se i na ostění tunelu objevila řada závad (průsaky, trhliny), takže již kolem roku 1900 se uvažovalo o rekonstrukci tunelu. K té došlo až v letech 1945–1948, kdy byly vyměněny pískovcové bloky v klenbě ostění za žulové klenáky a opravena rubová izolace klenby.

Až do otevření tunelu II v roce 1944 byla tunelem I vedena trať směřující na jih, přes Vršovice, Tábor a Gmünd, do Vídně. V současnosti prochází tunelem I železniční trať vedoucí na západ ve směru Smíchov, Plzeň, přejezd státní hranice s Německem je možný na více místech.

Vinohradský tunel II byl vybudován v letech 1940–1944 souběžně s tunelem I opět klasickou rakouskou soustavou v délce 1 149 m. Horní klenba tunelu II byla provedena z velmi kvalitních žulových kvádrů lichoběžníkového tvaru, s tloušťkou 1,0 až 1,3 m, opěry jsou z prostého betonu [1]. Mezi tunely II a III byla v délce 290 m, zhruba až k Anglické ulici, při výstavbě tunelu II vybudována společná opěra šířky 6 m (obr. 1, 2, 3), která má uprostřed chodbu o šířce 2 m spojenou s tunely II a III příčnými chodbami, také 2 m širokými. Tunel III byl k tomuto uspořádání vyražen následně.

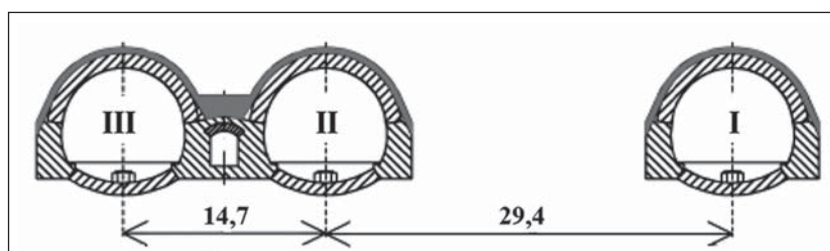
V současnosti je tunelem II vedena trať z Prahy na jih do Českých Budějovic, s odbočkou ve Veselí nad Lužnicí historickým směrem do Českých Velenic, Gmündu a Vídně.

BRIEF HISTORY OF CONSTRUCTION OF VINOHRADY TUNNELS

The Vinohrady Tunnel I was inaugurated in 1871 as an essential part of the Franz Joseph I single-track railway line, which led from Vienna, via Gmünd in Lower Austria, to Prague. The 1,146m long tunnel was built over two years (1869–1871) using the classical Austrian system, in difficult conditions under the relatively dense development of the then Vinohrady district, which work was not done without damaging a number of buildings. During the course of the next twenty years, a number of defects (leaks, cracks) appeared in the lining of the tunnel, so the reconstruction of the tunnel was considered around 1900. This did not happen until 1945–1948, when the sandstone blocks in the lining vault were replaced by granite crown stones and the external waterproofing of the vault was repaired.

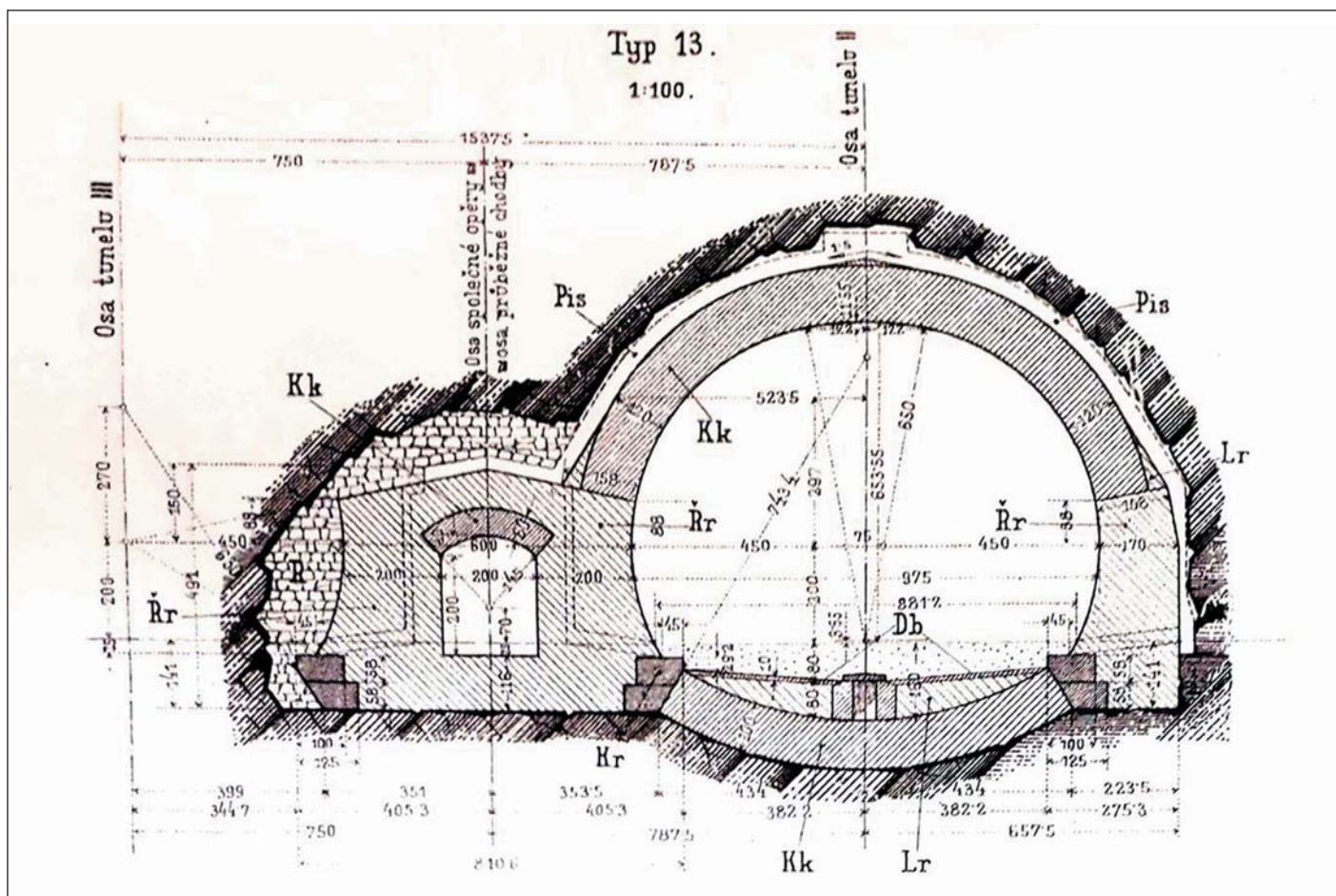
A south-heading railway line ran through Tunnel I – via Vršovice, Tábor and Gmünd to Vienna, until the inauguration of Tunnel II in 1944. At present, the railway line leading west in the direction of Smíchov and Plzeň passes through Tunnel I; crossing the state border with Germany is possible in several places.

The Vinohrady Tunnel II was built at the length of 1,149m in 1940–1944, in parallel with Tunnel I, again using the classical



Obr. 1 Vinohradské tunely
Fig. 1 Vinohrady tunnels

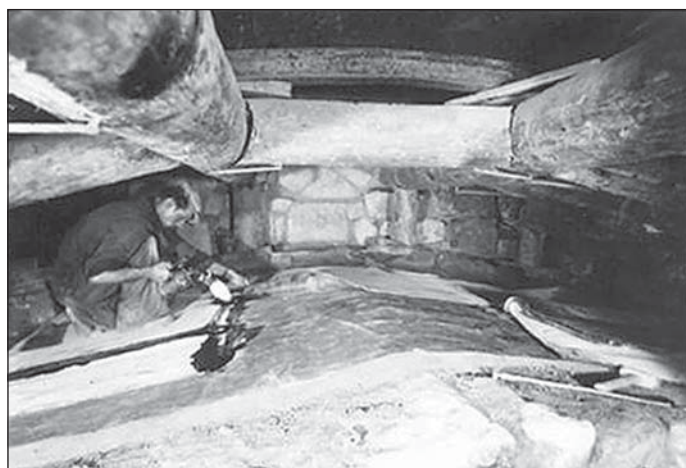
poklad [1] – upraveno source document [1] – modified



Obr. 2 Vinohradský tunel II se střední chodbou
Fig. 2 Vinohradsky Tunnel II with the central gallery

poklad [1] – upraveno source document [1] – modified

Vinohradský tunel III byl v již zmíněné délce 290 m vybudován v letech 1940–1944. Do nedokončeného dvoukolejného tunelu byly umístěny manipulační koleje, využíván byl též jako vinný sklep. Ve výstavbě se pokračovalo až v letech 1983–1989 v souvislosti s rozšířením hlavního nádraží a vybudováním odstavného nádraží Praha-jih. Na původní dvoukolejný tunel navázaly rozpletem (který byl realizován v 30 m hluboké šachtě v Anglické ulici) dva jednokolejné tunely v délkách 772 m, resp. 794 m. Jednokolejné tunely byly vyraženy prstencovou metodou, která byla používána v té době i při výstavbě pražského metra.



poklad [1] – upraveno source document [1] – modified

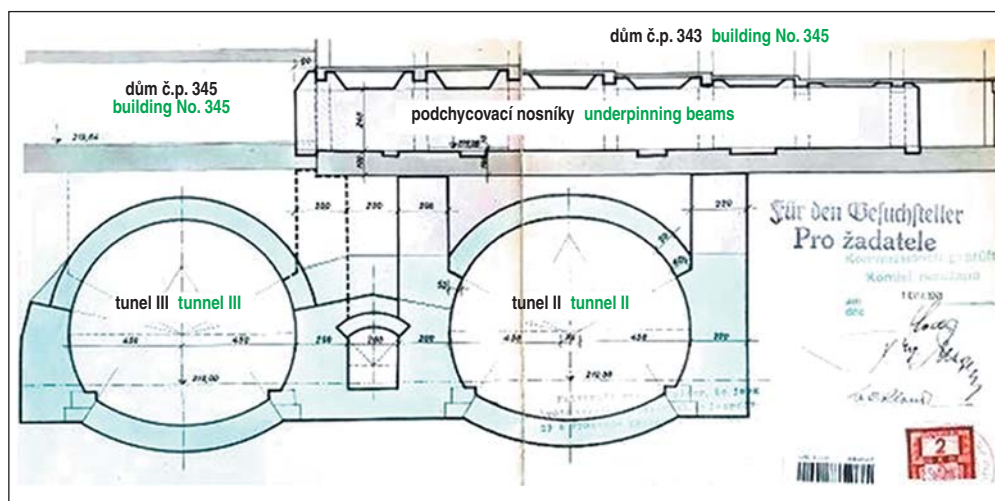
Obr. 3 Provádění rubové izolace střední chodby mezi tunely II a III
Fig. 3 Installation of external waterproofing of the central gallery between Tunnel I and Tunnel II

Austrian system. The upper vault of Tunnel II was carried out using high-quality, trapezoidal granite blocks, with a thickness of 1.0 to 1.3m; the side walls are made of unreinforced concrete [1]. A 290m long, 6m wide common support block (see Figures 1, 2, 3) was built between Tunnels II and III during the course of construction of tunnel II, reaching approximately up to Anglická Street. There was a 2m wide corridor in it connected with tunnels II and III by cross passages, also 2m wide. Tunnel III was excavated subsequently and was added to this arrangement.

At present, the south-heading line from Prague to České Budějovice, with a turnoff in Veselí nad Lužnicí in the historic direction to České Velenice, Gmünd and Vienna, runs through Tunnel II.

The Vinohrady III tunnel was built at the already mentioned length of 290m in the years 1940–1944. Loading tracks were laid in the unfinished double-track tunnel; the tunnel was also used as a wine cellar. The construction continued later in 1983–1989 in connection with the expansion of the Main Railway Station and the construction of the Prague-South rail storage yard. Two single-track tunnels at the lengths of 772m and 794m, respectively, continued from a bifurcation chamber (which was carried out in a 30m deep shaft in Anglická Street). The single-track tunnels were driven using the Ring Method, which was applied at that time to the construction of the Prague metro.

At present, the south-heading line from Prague to České Budějovice, or in the historical direction to České Velenice, Gmünd and Vienna, also runs through the single-track Vinohrady Tunnel III.



poklad [1] – upraveno source document [1] – modified

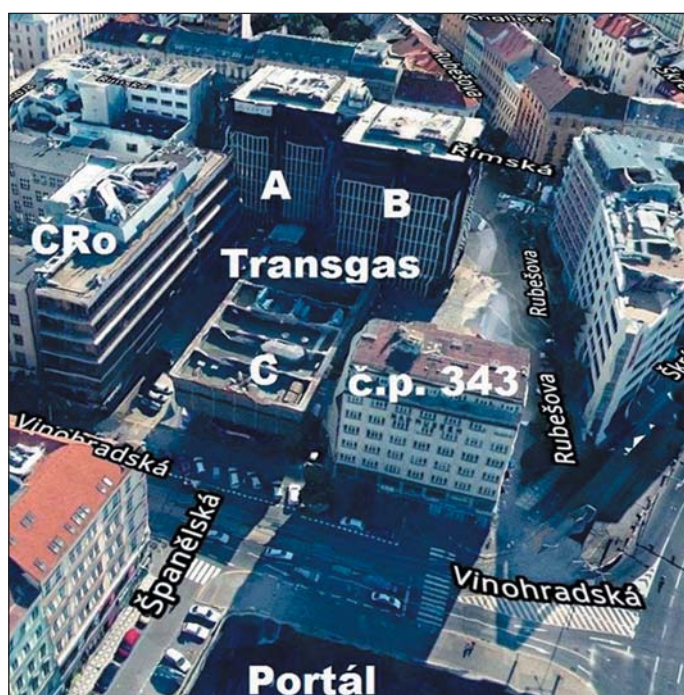
Obr. 4 Schéma podchytní stávajícího domu Nad Muzeem č. p. 343
Fig. 4 Scheme of underpinning of the existing “Nad Muzeem” building No. 343

V současnosti je jednokolejným tunelem Vinohradského tunelu III také vedena trať z Prahy na jih do Českých Budějovic, případně historickým směrem do Českých Velenic, Gmündu a Vídně.

ZÁSTAVBA V OBLASTI NÍZKÉHO NADLOŽÍ TUNELŮ

Charakteristika staré zástavby

Stará zástavba podél Vinohradské třídy (1922–1939 Fochova, 1940–1945 Schwerinova, 1946–1962 Stalinova) nad budoucími tunelem II a III byla zbourána v roce 1939–1940 Ministerstvem pošt a telegrafů, s výjimkou domu „Nad Muzeem“ (č. p. 343), pod kterým se chystala výstavba tunelu II. Dům byl před ražbou tunelu II podchyten klasickým způsobem pomocí železobetonových nosníků zajišťujících nosné zdi objektu. Šachtové pilíře, tvořící podpěry podchycovacích nosníků, přenášely zatížení objektem do úrovně základové spáry tunelů II a III (obr. 4).



www.Google – upraveno www.Google – modified

Obr. 5 Pohled na komplex Transgasu
Fig. 5 View of Transgas complex

DEVELOPMENT IN THE AREA OF SHALLOW OVERBURDEN OF THE TUNNELS

Characteristics of old buildings

The old buildings along Vinohrady Třída Street (1922–1939 named Fochova Avenue, 1940–1945 Schwerinova Avenue, 1946–1962 Stalinova Avenue) above the future Tunnels II and III were demolished in 1939–1940 by the Ministry of Posts and Telegraphs, with the exception of the building “Nad Muzeem” (No. 343), under which the construction of Tunnel II was planned. Before the excavation of Tunnel II, the building was underpinned in the classic way by means of reinforced concrete beams supporting the load-bearing walls of the building. The shaft pillars, forming the supports of the underpinning beams, transferred the load exerted by the building to the foundation level of Tunnels II and III (see Fig. 4).

Other four buildings on the corner of Římská and Rubešova Streets were demolished in 1965, so a large vacancy, also located above Tunnel III, originated next to the Czechoslovak Radio building.

In connection with the construction of a transit gas pipeline from the then USSR to the countries of Central Europe, this vacancy was used for the construction of the Transgas complex of buildings. The construction took place in the years 1972–1978 and was one of several other important buildings of the so-called brutalist style period. The most important part of the complex was the relatively low building of the transit gas pipeline control centre, which had the front wall facing Vinohradská Třída Street. Two large office tower buildings were built at the rear of the vacancy (see Fig. 5).

In 2014, the demolition of the entire Transgas complex of buildings and the development of a modern administrative centre began to be considered. Since the Ministry of Culture rejected the inclusion of this important category “A” buildings among cultural monuments, the new plan started to be implemented and, on February 15, 2019, demolition began. As far as the superstructure is concerned, it was practically completed in the spring of 2020 (see Fig. 6).

Characteristics of the new construction

The Vinohrady Administrative Centre (hereinafter referred to as VAC – Fig. 7) will be built in the vacated space, and a relatively narrow building will be added to the existing house No. 343 “Nad Muzeem” (hereinafter referred to as NMA) by the private owner.

The nature of the influence of Tunnels II and III by the demolition and new construction

Prior to the commencement of demolition work on the Transgas complex of buildings, a detailed condition survey of the linings of Tunnels II and III was carried out, during which no damage to the tunnels relating to their previous loading was documented [2].

The demolition of the Transgas buildings, the excavation of construction pits for the new ACV and NMA buildings and their subsequent construction represent significant and

Další čtyři domy na nároží ulic Římská a Rubešova byly zbořeny v roce 1965, takže vedle budovy Čs. rozhlasu vznikla rozsáhlá proluka, situovaná též nad tunelem III.

V souvislosti se stavbou tranzitního plynovodu z tehdejšího SSSR do země střední Evropy byla tato proluka využita pro stavbu komplexu budov podniku Transgas. Výstavba proběhla v letech 1972–1978 a řadila se k několika dalším významným stavbám tzv. brutalistního slohu. Nejdůležitější částí komplexu byla poměrně nízká budova dispečinku tranzitního plynovodu, která měla průčelí do Vinohradské třídy, v zadní části proluky byly postaveny dvě mohutné kancelářské věžové budovy (obr. 5).

V roce 2014 se začalo uvažovat o demolici celého komplexu Transgasu a vytvoření moderního administrativního centra. Jelikož Ministerstvo kultury zamítlo zařazení této významné stavby kategorie „A“ mezi kulturní památky, začal se nový záměr uskutečňovat a 15. února 2019 započala demolice, která byla z hlediska horní stavby na jaře roku 2020 prakticky dokončena (obr. 6).

Charakteristika nové zástavby

V uvolněném prostoru bude vybudováno Administrativní centrum Vinohrady (dále ACV – obr. 7) a ke stávajícímu domu č. p. 343 „Nad Muzeem“ bude jeho soukromým majitelem připojen poměrně úzký objekt dostavby (dále DONM).

Charakter ovlivnění tunelů II a III provedenou demolicí a novou výstavbou

Před zahájením demoličních prací na komplexu Transgasu byla provedena podrobná pasportizace ostění tunelů II a III, při níž nebyla dokumentována žádná poškození tunelů související s jejich předchozím zatížením [2].

Demolice objektů Transgasu, vyhloubení stavebních jam pro nové objekty ACV a DONM a jejich následná výstavba představují výrazné a opakované změny v zatížení tunelů II a III, jelikož úroveň dna stavebních jam byly vyprojektovány do bezprostřední blízkosti rubu kleneb obou tunelů. Výšková úroveň základové spáry nových objektů byla v projektu dodatečně upravena tak, aby byl vyloučen průnik dna stavebních jam do výrubu tunelů II a III. Minimální vzdálenost od rubu horní klenby tunelů II a III byla stanovena na 0,75 m vzhledem k potřebné velikosti vícevýlomu pro provedení rubové izolace.

Odlehčení ostění tunelů při demolici a vyhloubení stavebních jam, které bude mít asymetrický charakter, způsobí neobvyklé deformace a vznik trhlin v ostění. Tyto nežádoucí efekty bylo nutno podrobně analyzovat pokročilými statickými výpočty.

Výstavba nových objektů ACV a DONM bude mít na deformace vzniklé při demolici a vyhloubení stavebních jam logicky výrazně příznivý vliv – deformace se podstatně redukuje a trhliny se uzavírají. I tento stav byl podrobně analyzován statickými výpočty.

V průběhu obou zásadních fází současné výstavby – demolice bu-

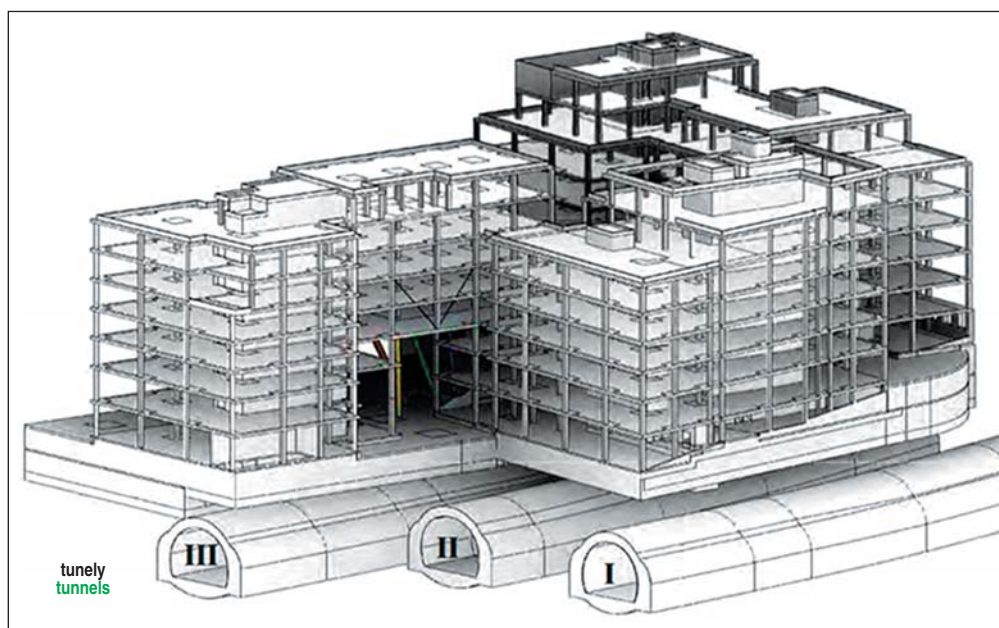


Obr. 6 Demolice vstupní budovy C Transgasu
Fig. 6 Demolition of Transgas entrance building C

repeated changes in the loading acting on Tunnels II and III, as the levels of the bottoms of the construction pits were designed in immediate proximity to the external surfaces of both tunnels. The foundation level of the new buildings was additionally adjusted in the design so that the penetration of the bottom of the construction pits into the excavated space of Tunnels II and III was excluded. The minimum distance from the external surface of the upper vault of Tunnels II and III was set at 0.75m with respect to the required size of the overcutting required for the external waterproofing.

The unloading of the tunnel lining during demolition and excavation of the construction pits, which will have an asymmetric character, will cause unusual deformations and origination of cracks in the lining. These undesired effects had to be analysed in detail by advanced static calculations.

The construction of the new ACV and NMA buildings will logically have a significant positive effect on the deformations caused during the course of the demolition and excavation of construction pits – the deformations are significantly reduced and



Obr. 7 Projektovaný komplex Administrativního centra Vinohrady
Fig. 7 Designed complex of Vinohrady Administrative Centre

poklad [5] – upraveno source document [5] – modified

dov Transgasu, vyhloubení stavebních jam a výstavba nových objektů ACV a DONM – je nutno provádět geotechnický monitoring podle zpracovaného projektu [2]. Geotechnický monitoring, kromě kontroly výsledků provedených statických posouzení, má výrazně bezpečnostní význam, neboť umožňuje sledování reálných deformací provozovaných tunelů. Správce tunelů a všichni účastníci výstavby budou mít nepochybně mimořádný zájem na vyhodnocování této nedílné součásti výstavby, neboť probíhá v těsné blízkosti tunelových konstrukcí, tj. v ochranném pásmu dráhy.

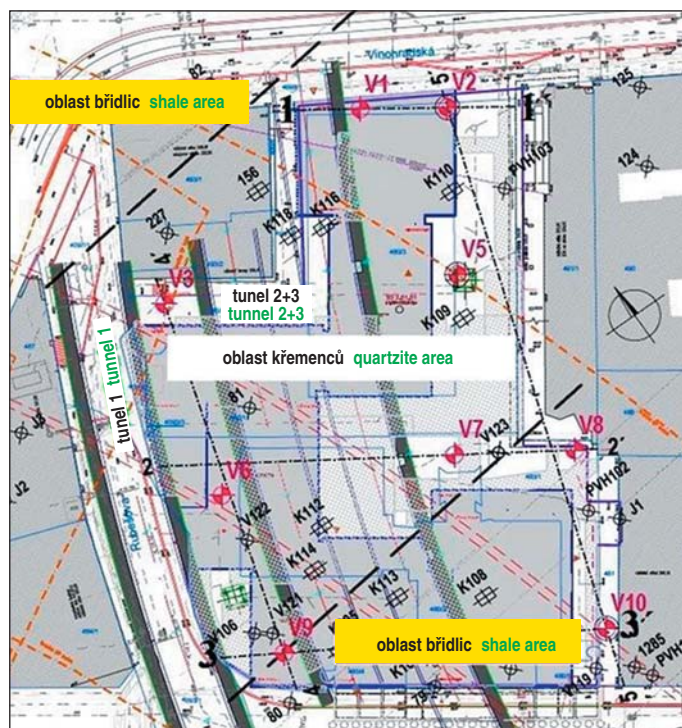
POSOUZENÍ VLIVU DEMOLICE A NOVÉ VÝSTAVBY NA TUNELY II A III

Inženýrskogeologické poměry

Inženýrskogeologické poměry v oblasti budoucí výstavby ACM, DONM a příslušného úseku Vinohradských tunelů byly podrobně popsány na základě archivních podkladů, devíti nových jádrových vrtů a provedených rozborů v Závěrečné zprávě IG průzkumu z roku 2018 (podklad [3]).

Vinohradské tunely jsou v celé zájmové oblasti situovány do horninového prostředí. Horninové prostředí hodnotil IG průzkum [6] z hlediska porušení na základě indexu GSI a určil pro statické posouzení ostění Vinohradských tunelů, ovlivněného budoucí výstavbou, všechny potřebné pevnostní a deformační parametry zastižených hornin i pokryvných útvarů.

Vinohradské tunely byly raženy v libeňském souvrství pražského ordoviku, přičemž jsou v zájmové oblasti zastiženy obě litologické facie tohoto souvrství – jednak prachovitojilovité břidlice libeňské, zdravé až navětralé pevnostní třídy R4 (5–15 MPa), mírně až silně zvětralé R5 (1,5–5 MPa), jednak křemence řevnické (drabovské), navětralé až zdravé, převážně pevnostní třídy R2 (50–150 MPa). Z podstatné části je horninové prostředí v zájmové oblasti nové výstavby tvořeno polohou křemenců (obr. 8), která zapadá pod 45° k JJV, v okrajových částech staveniště se nacházejí břidlice. V průzkumné zprávě [6] je zpracováno pět geologických profilů, z nichž je dále uveden ten, který byl, vzhledem k asymetrickému zatížení a základové spáře nových budov v těsné blízkosti rubu ostění tunelů, podstatný pro posouzení tunelů II a III. Jedná se o geologický profil 1-1' (obr. 9) v průčelí budov u Vinohradské třídy.



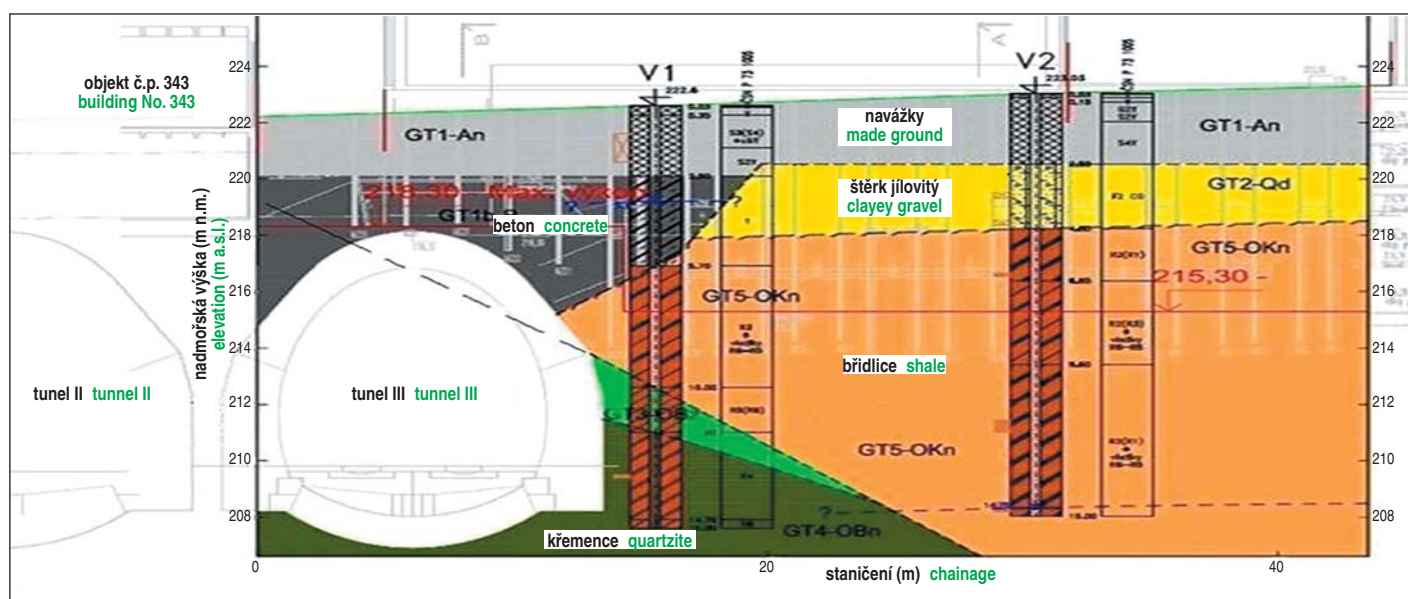
poklad [3] – upraveno source document [3] – modified

Obr. 8 Polohy hornin zastižených v zájmové oblasti

Fig. 8 Rock types encountered in the area of interest

the cracks are closed. This state was also examined in detail by static calculations.

During the two fundamental phases of the current construction – the demolition of the Transgas buildings, excavation of construction pits and construction of new ACV and NMA buildings – it is necessary to perform geotechnical monitoring according to the design [2]. Geotechnical monitoring, in addition to checking the results of static assessments, has a significant significance for the safety, as it allows for monitoring of real deformations of the operated tunnels. The administrator of the tunnels and all participants in the construction will undoubtedly have a special interest in assessing this integral part of the construction, as it takes place in close proximity to the tunnel structures, i.e. in the exclusion zone of the railway.



Obr. 9 Geologický profil 1-1'
Fig. 9 Geological profile 1-1'

poklad [3] – upraveno source document [3] – modified



podklad [5] – upraveno source document [5] – modified

Obr. 10 Umístění příčných řezů vedených novými objekty ACV a DONM
Fig. 10 Locations of cross-sections through new ACV and NMA buildings

Statické posouzení vlivu nových staveb na tunely II a III

Statické posouzení bylo provedeno opakovaně různými zpracovateli [2], [4], [5] a [6]. V dalším textu je popsán výpočet [5], který byl proveden metodou konečných prvků s využitím programu SOFISTIC 2D (výrobce Sofistic Cybersecurity), který modeluje ostění tunelů v interakci s okolním prostředím a identifikuje místa možného vzniku trhlin. Pro simulaci chování horninového prostředí byl použit nelineární pružno-plastický konstitutivní model Hardening-Soil, který uvažuje při výpočtu nárůst tuhosti zeminy po odtížení (např. stav po vyhloubení stavební jámy). Pro simulaci chování ostění byl použit nelineární konstitutivní model Drucker-Prager, jehož parametry byly odvozeny převodními vztahy z tlakové pevnosti homogenizovaného materiálu kamenné zdivo + malta.

Výpočty byly provedeny mimořádně podrobně ve čtyřech vybraných řezech I', I'', II a III' (obr. 10) volených tak, aby postihly postup výstavby a změny v zatížení tunelů s asymetrickým namáháním. Poměry ve zbývajících řezech I, II' a III jsou dostatečně reprezentovány výpočty ve čtyřech vybraných řezech.

Výpočty byly rozděleny do šesti stavebních fází a čtyř podfází, kterými byly primární napjatost (fáze 100), výstavba tunelů (fáze 200 a 300), stávající stav (fáze 400 – přitížení tunelů od stávajících objektů), stavební jáma (fáze 500 – demolice budov Transgasu, odtěžení zeminy ze stavební jámy, podfáze 510 – charakteristické zatížení, podfáze 520 – návrhové zatížení), nová zástavba (fáze 600 – zatížení stavbami ACV a DONM, podfáze 610 – charakteristické zatížení, podfáze 620 – návrhové zatížení). Pro posouzení vlivu stávajících objektů a nové výstavby na Vinohradské tunely jsou relevantní fáze 400 až 600 s příslušnými podfázemi.

Výsledky výpočtů jsou v podkladu [5] pro fáze výpočtu 400 až 600 a pro všechny sledované řezy I', I'', II, III' graficky zobrazeny formou hlavních napětí v ostění, radiálních zatížení ostění, kontaktního napětí mezi ostěním a horninou, míst vzniku tahových trhlin v ostění, ve všech případech pro charakteristické i návrhové

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF DEMOLITION AND NEW CONSTRUCTION ON TUNNELS II AND III

Engineering geological conditions

The engineering geological conditions in the area of the future construction of the ACM and NMA buildings and the relevant section of Vinohrady Tunnels were described in detail on the basis of archival documents, nine new cored boreholes and analyses in the Final Report of the EG survey from 2018 source document [3].

In the whole area of interest, the Vinohrady tunnels are located in rock. The rock environment was assessed by the EG survey [6] in terms of failure on the basis of the GSI index. It determined all necessary strength and deformation parameters of the affected rock and the superficial deposits for the purpose of static assessment of the linings of the Vinohrady tunnels affected by future construction.

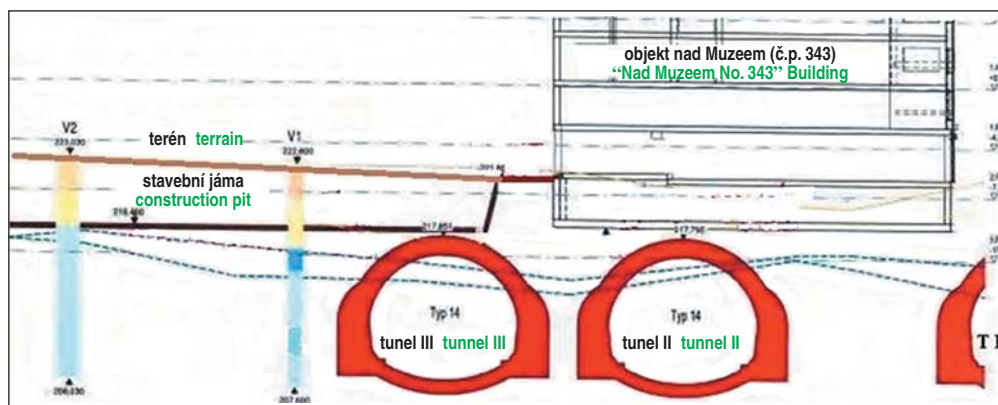
The Vinohrady tunnels were excavated in the Libeň Formation of the Prague Ordovician Formation. Both lithological facies of the Libeň Formation are found in the area of interest – on the one hand the Libeň Silty Shale, fresh to slightly weathered, strength class R4 (5–15MPa), moderately to heavily weathered R5 (1.5–5MPa), and Řevnice (Drabov) Formation quartzite, slightly weathered to fresh, prevailing strength class R2 (50–150MPa). For the most part, the rock environment in the area of interest of the new construction is formed by a layer of quartzite (see Fig. 8), which dips SSE at 45°; in the peripheral parts of the construction site there are shales. Five geological profiles have been processed in the exploratory report [6]. The following one was essential for the assessment of Tunnels II and III, with respect to the fact that the loading was asymmetric and the foundation level of new buildings was in close proximity to the external surface of the tunnel lining. The geological profile 1–1' (see Fig. 9) at the front walls of the buildings at Vinohradská Třída Street is in question.

Static assessment of the impact of new structures on Tunnels II and III

The static assessment was performed repeatedly by different authors [2] [4], [5] and [5]. The following text describes the calculation [5], which was performed using the Finite Element Method in the SOFISTIC 2D program (producer Sofistic Cybersecurity), which models the lining of tunnels in interaction with the environment and identifies the places of possible cracks. To simulate the behaviour of the rock environment, the Hardening-Soil nonlinear elastoplastic constitutive model was used, which takes the increase in soil stiffness after unloading (e.g. the condition after excavation of the construction pit) into consideration. The Drucker-Prager nonlinear constitutive model was used to simulate the lining behaviour. The parameters of the behaviour were derived by conversion relations from the compressive strength of the homogenised stone masonry + mortar material.

The calculations were performed in extraordinary detail in four selected sections I', I'', II and III' (see Fig. 10) selected to cover the construction process and changes in the loading acting on tunnels with asymmetric stress. The conditions in the remaining sections I, II' and III are sufficiently represented by calculations for the four selected sections.

The calculations were divided into six construction phases and four sub-phases, namely primary stress (phase 100) and tunnel construction (phases 200 and 300), current state (phase 400 – surcharging of tunnels by existing buildings), construction pit (phase 500 – demolition of Transgas buildings, excavation of soil from the construction pit, sub-phase 510 – characteristic load,



poklad [5] – upraveno source document [5] – modified

Obr. 11 Výstavba fáze 500 Demolice a Stavební jáma v řezu III'
Fig. 11 Construction phase 500 Demolition and Construction pit in cross-section III'

zatížení. Deformace ostění jsou dokumentovány jen pro zatížení normové.

V dalším textu je uvedeno pouze posouzení fází výstavby 500 a 600 (demolice + stavební jáma + nová zástavba) v řezu III', které byly pro posouzení tunelů II a III nejvýznamnější, vzhledem k působení asymetrického zatížení na tunel III a základové spáře nových budov v těsné blízkosti rubu ostění tunelu III.

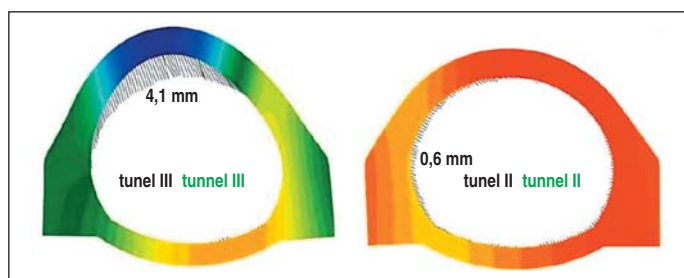
FÁZE 500: Schéma pro posouzení ve fázi 500 Demolice a Stavební jáma v řezu III' je na obr. 11. Vyhroubení stavební jámy bylo uvažováno pouze provedením jámy pro objekt ACV. Vzhledem k nepříznivému asymetrickému zatížení neprovedeným výkopem stavební jámy pro DONM leží výpočet na straně bezpečnosti.

Ve fázi 500 Demolice a Stavební jáma dochází k výraznějšímu asymetrickému namáhání horní klenby tunelu III s maximální deformací 4,1 mm v levé části klenby a mírně asymetrickému namáhání tunelu II s maximální deformací 0,6 mm (obr. 12).

K tahovému namáhání tunelu III (obr. 13) došlo na rubu levé části horní klenby, na líci horní klenby v jejím středu a v pravé části, šířky trhlin se pohybují okolo hodnoty 0,1 mm. K tahovému poškození dochází i na líci levé opěry, které lze z hlediska únosnosti celého ostění pokládat za málo významné, stejně tak jako tahové poškození v základech opěr. U tunelu II je patrné malé tahové namáhání na líci horní klenby v jejím středu a na levém rubu klenby, šířka trhlin je pod 0,05 mm. I zde lze poškození v základech opěr hodnotit jako málo významné.

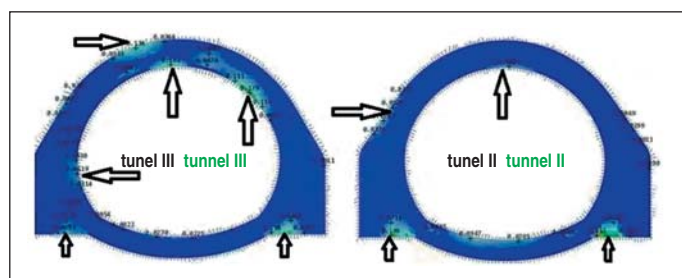
FÁZE 600: Schéma pro posouzení nové výstavby v řezu III' ve fázi 600 pro současné působení objektů ACV a DONM je na obr. 14.

Výsledky výpočtů ve fázi 600 Objekty ACV a DONM prokázaly, že po přitížení oběma novostavbami dochází v inkriminovaných oblastech průřezů klenby k eliminaci asymetrických deformací a ke změně tahového namáhání na namáhání tlakové, což vede



poklad [5] – upraveno source document [5] – modified

Obr. 12 Deformace tunelů II a III ve fázi 500
Fig. 12 Deformations of Tunnels II and III in phase 500



poklad [5] – upraveno source document [5] – modified

Obr. 13 Šipkami jsou vyznačena tahová poškození obzdvíky tunelů II a III trhlinkami ve fázi 500
Fig. 13 The arrows indicate the tensile damage to the lining of Tunnels II and III by cracks in phase 500

sub-phase 520 – design load), new construction (phase 600 – loading exerted by ACV and NMA buildings, sub-phase 610 – characteristic load, sub-phase 620 – design load). The phases 400 to 600 with the respective sub-phases are relevant for assessing the impact of existing buildings and new construction on the Vinohrady tunnels.

The results of the calculations are graphically displayed in the source document [5] for the calculation phases 400 to 600 and for all monitored sections I', I'', II, III' in the form of principal stresses in

the lining, radial loads acting on the lining, contact stress between the lining and rock, places of origination of tensile cracks in the lining, in all cases for characteristic and design loads. Lining deformations are documented only for standard loads.

In the following text, only the assessment of construction phases 500 and 600 (demolition + construction pit + new construction) in section III', which were the most important for the assessment of Tunnels II and III, is given with respect to the effect of the asymmetric loading on Tunnel III and the foundation bases of new buildings in close proximity to the external surface of the lining of Tunnel III.

PHASE 500: The scheme for the assessment in phase 500 Demolition and Construction Pit in section III' is shown in Fig. 11. The excavation of the construction pit was considered only for the ACV building. With respect to the unfavourable asymmetric loading exerted by the unexcavated construction pit for the NMA, the calculation lies on the safe side.

In phase 500 Demolition and Construction Pit, there is a more significant asymmetric stress in the upper vault of Tunnel III with a maximum deformation of 4.1mm in the left part of the vault and a slightly asymmetric stressing of Tunnel II with a maximum deformation of 0.6mm (see Fig. 12).

The tensile stressing of Tunnel III (see Fig. 13) occurred on the external side of the left part of the upper vault, on the internal surface of the upper vault in its centre and in the right part; the values of the widths of cracks fluctuate about 0.1mm. Tensile damage also occurs on the internal surface of the left side wall. It can be considered little significant in terms of load-bearing capacity of the entire lining. The same applies to the tensile damage in the footings. In Tunnel II, a low tensile stress is evident on the internal surface of the upper vault in its centre and on the left external surface of the vault; the width of the cracks is below 0.05mm. The damage to



Obr. 14 Nová výstavba v řezu III' – fáze 600 Objekty ACV a DONM

Fig. 14 New construction in cross-section III' – phase 600 ACV and NMA Buildings

k uzavření trhlin v horní klenbě tunelu II a III i v opěrách a základech opěr.

ZÁVĚR

Demolice čtyř objektů Transgasu proběhla nad Vinohradskými tunely II a III za nepřerušeno železničního provozu. Stejně tak za provozu budou vyhloubeny stavební jámy a výstavba nových objektů Administrativního centra Vinohrady a dostavby Nad Muzeem. Všechny fáze výstavby jsou, respektive budou, monitorovány [7].

Provedené statické výpočty [2], [4], [5] a [6] potvrdily, že nepříznivé působení demolice a vyhloubení stavebních jam budou zatížením od nových objektů téměř zcela eliminovány, takže statická funkce a bezpečnost tunelových ostění bude i nadále zachována. Audit statických výpočtů [8], objednaný správcem tunelů, výsledky výpočtů potvrdil s požadavkem úpravy projektu tak, aby základová spára nových objektů byla min 0,75 m nad vrcholem rubu historických tunelových ostění.

prof. Ing. JIŘÍ BARTÁK, DrSc., bartakj@fsv.cvut.cz,
katedra geotechniky FSv ČVUT v Praze

Recenzovala Reviewed:

Ing. Linda Černá Vydrová, Ph.D.

CONCLUSION

The demolition of four Transgas buildings took place above the Vinohrady Tunnels II and III during uninterrupted railway operation. The construction pits will be excavated, the construction of new buildings of the Vinohrady Administrative Centre and the addition to the “Nad Muzeem” building will be carried out without interrupting the railway operation. All phases of construction are, or will be, monitored [7].

The completed static calculations [2], [4], [5] and [6] confirmed that the adverse effects of demolition and excavation of construction pits will be almost completely eliminated by the loads exerted by new buildings, so that the static function and safety of tunnel linings will continue to be maintained. The audit of static calculations [8], ordered by the tunnel administrator, confirmed the results of the calculations, with the requirement for modification of the design so that the foundation level of the new buildings is at least 0.75m above the top of the external surface of the historic tunnel linings.

Prof. Ing. JIŘÍ BARTÁK, DrSc., bartakj@fsv.cvut.cz,
Czech Technical University in Prague, Faculty of Civil
Engineering, Department of Geotechnics

LITERATURA / REFERENCES

- [1] *Expertní popis a posouzení „Stavba Vinohradských tunelů II a III v letech 1940/45“*. Pro SPŽU Praha zpracoval Ing. Jaroslav Sedláček, 02/1980.
- [2] *Administrativní centrum Vinohradská, pasportizace stávajícího stavu Vinohradských tunelů*. Statické posouzení ostění od nové výstavby. Zpracovala firma SUDOP Praha, 08/2015.
- [3] *Závěrečná zpráva inženýrskogeologického průzkumu pro projekt AC Vinohradská v Praze 2*. Zpracovala firma SG Geotechnika a.s., 02/2018.
- [4] *Statické posouzení vlivu přístavby bytového domu Nad Muzeem, Vinohradská 6, Praha 2, na Vinohradský železniční tunel*. Zpracovala firma Amberg Engineering Brno, a.s., 06/2018.
- [5] *Administrativní centrum Vinohradská, Vinohradská 325/8, Praha 2*. Posouzení vlivu novostavby na konstrukci stávajících tunelů ČD, část Statické posouzení. Zpracovala firma VIN Consult s.r.o., 04/2019.
- [6] *Vinohradské tunely*. Nelineární posouzení únosnosti ostění tunelů. Zpracovala firma Červenka Consulting, s.r.o., 04/2019.
- [7] *Demolice Transgas a Administrativní centrum Vinohradská 8*. Projekt Geotechnického monitoringu stávajících železničních tunelů pod stavenišťem. Technická zpráva. Zpracovala firma SUDOP Praha, a.s., 02/2018.
- [8] *Kontrola statických posudků a odborný audit ovlivnění Vinohradských tunelů stavbou Administrativního centra Vinohradská a dostavbou objektu Nad Muzeem*. Zpracoval prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., 09–11/2019.

ODEZVA HORNINOVÉHO MASIVU PŘI POUŽITÍ EKVIVALENTNÍCH PODMÍNEK PORUŠENÍ V ANALÝZE MKP

ROCK MASS RESPONSE USING EQUIVALENT FAILURE CRITERIA IN FEM ANALYSIS

TEREZA ŽALSKÁ, MICHAL ŠEJNOHA

ABSTRAKT

Nahrazení Hoek-Brownova kritéria porušení standardním Mohr-Coulombovým modelem při predikci chování horninového masivu je poměrně běžné. Článek se vrací k analogii obou modelů při analýze metodou konečných prvků, představuje dvě základní úlohy v mechanice hornin, kterými jsou stabilita svahu a kruhový výrub, a upozorňuje na omezení a rizika použití ekvivalentních parametrů smykové pevnosti, které nevstupují do formulace Hoek-Brownova kritéria. Všechny prezentované výsledky byly získány pomocí softwaru GEO5 FEM.

ABSTRACT

Replacing the Hoek-Brown failure criterion with the standard Mohr-Coulomb model in solving the rock mass behaviour is relatively common. The paper returns to the analogy of both models in finite element analysis, presents two basic problems in rock mechanics, namely slope stability and circular excavation, and draws attention to the limitations and risks of using equivalent shear strength parameters which do not enter the formulation of the Hoek-Brown criterion. All of the presented results were obtained using GEO5 FEM software.

1. ÚVOD

V současnosti nejběžněji používaným materiálovým modelem pro popis chování horninového masivu je Hoek-Brownova (HB) podmínka porušení. Typickým přímým výstupem geotechnického průzkumu jsou právě parametry HB modelu krátce popsané v další kapitole tohoto příspěvku. Ačkoliv v současnosti mnoho softwarů určených pro řešení geotechnických úloh metodou konečných prvků již umožňuje přímé použití HB materiálového modelu jako podmínky plasticity, stále se v praxi uplatňuje použití standardního Mohr-Coulombova (MC) kritéria s náhradními smykovými parametry masivu. Vzhledem k tomu, že HB kritérium bylo odvozeno čistě empiricky, mezi dvěma podmínkami nelze odvodit přímou matematickou závislost. Stěžejním krokem v procesu určení ekvivalentních parametrů smykové pevnosti je potom odhad oblasti napjatosti, ve které bude ekvivalence uplatněna.

2. HOEK-BROWNOVA PODMÍNKU PORUŠENÍ

Původně byla HB podmínka určena pro navrhování podzemních exkavací v intaktních horninách [1]. Jedinými parametry materiálového modelu potom byly jednoosá tlaková pevnost horniny σ_{ci} a Hoek-Brownova konstanta m_i . Potřeba inženýrské praxe vhodně predikovat odezvu horninových masivů i v velmi nízkých pevnostech a kvalit později vedla k zavedení zobecněné podmínky porušení, ve které jsou charakteristiky bloků intaktní horniny redukovány v závislosti na geologických vlastnostech horninového masivu jako celku [2, 3]. Mezi základní parametry modelu tak byla zahrnuta hodnota GSI (Geological Strength Index) zohledňující množství diskontinuit a strukturu horninového masivu a faktor porušení D popisující stupeň porušení horninového masivu předchozí exkavací nebo báňskou činností. Podrobnější informace o charakteristikách horninového masivu vstupujících do HB kritéria lze nalézt např. v [2, 3] nebo v předchozí práci autorky [4].

Zobecněná HB podmínka je definována v hlavních napětích σ_1 a σ_3 a jejím základním předpokladem je nezávislost na prostřední hodnotě napětí σ_2 . Generalizované kritérium má tvar

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a, \quad (2.1)$$

1. INTRODUCTION

Currently, the most commonly used material model for describing the behaviour of a rock mass is the Hoek-Brown (HB) failure criterion. The typical direct output of the geotechnical investigation are the parameters of the HB model briefly described in the following chapter of this paper. Although many software programs designed to solve geotechnical problems using the finite element method already allow the direct use of the HB material model as a yield function, the use of the standard Mohr-Coulomb (MC) criterion with equivalent shear strength parameters of rock mass is still used in practice. With respect to the fact that the HB criterion was derived purely empirically, no direct mathematical relation can be derived between the two conditions. The key step in the process of determining the equivalent shear strength parameters is then the estimation of the stress range to which the equivalence will be applied.

2. HOEK-BROWN FAILURE CRITERION

Originally, the HB criterion was intended for the analysis of underground excavation in intact rock [1]. The only parameters of the material model were then the uniaxial compressive strength of the rock σ_{ci} and the Hoek-Brown constant m_i . The need for engineering practice to appropriately predict the response of low strength and quality rock masses later led to the introduction of a generalised failure criterion in which the characteristics of intact rock blocks are reduced depending on the geological properties of the rock mass as a whole [2, 3]. The value of GSI (Geological Strength Index) taking into account the amount of discontinuities and the structure of the rock mass and the disturbance factor D describing the degree of damage of the rock mass caused by previous excavation or mining activities were integrated among basic parameters of the model. More detailed information on the characteristics of the rock mass entering the HB criterion can be found, for example, in [2, 3] or in the author's previous work [4].

The generalised HB criterion is defined in terms of principal stresses σ_1 and σ_3 and its basic assumption is independence from the mean value of the stress σ_2 . The generalised criterion has the form

kde σ_1 a σ_3 jsou efektivní hodnoty hlavních napětí při porušení, m_b je hodnota Hoek-Brownovy konstanty redukována s ohledem na geologický rozbor horninového masivu, σ_{ci} je prostá pevnost intaktní horniny v tlaku. Konstanty s a a jsou závislé na geologických charakteristikách masivu. Pro úplnost jsou dále uvedeny empiricky odvozené vztahy pro výpočet parametrů redukujících pevnost horninového masivu podle [3]:

$$m_b = m_i e^{\frac{GSI-100}{28-14D}}, \quad (2.2)$$

$$s = e^{\frac{GSI-100}{9-3D}}, \quad (2.3)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{\frac{-GSI}{15}} - e^{\frac{-20}{3}} \right). \quad (2.4)$$

V průběhu let se postupně objevilo několik publikací věnujících se vlivu hodnoty prostředního napětí a jeho zahrnutí do podmínky porušení, možno uvést například [5]. Nicméně tato práce se omezi pouze na popis odezvy řízené rovnicemi (2.1) až (2.4).

2.1 Analogie Hoek-Brownova modelu s Mohr-Coulombovým modelem

Kritérium porušení má v metodě konečných prvků význam podmínky plasticity definující oblast napjatosti, ve které je odezva v materiálovém bodě elastická. Plocha plasticity odpovídající HB podmínce je v prostoru hlavních napětí obdobou šestibokého jehlanu typického pro MC model. Na rozdíl od MC modelu však zohledňuje nelineární vývoj pevnosti horninového masivu ve vztahu k aktuální napjatosti, a proto hrany tělesa mají parabolický tvar. Připomeňme MC vztah mezi hlavními napětími ve tvaru

$$\sigma_1 = \frac{2c \cos \varphi}{1 - \sin \varphi} + \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \sigma_3, \quad (2.5)$$

kde c je soudržnost a φ je úhel vnitřního tření.

Jak už bylo zmíněno, mezi předmětnými funkcemi plasticity nelze navzdory jejich podobnosti odvodit přímou závislost. Proto se pro určení ekvivalentních smykových parametrů využívá analytické řešení rovnice (2.1) s následným proložením přímkou ve zvoleném rozsahu napjatosti. Způsob odvození vztahů pro náhradní parametry smykové pevnosti proložením nelineární křivky přímkou a porovnáním ploch nad a pod křivkou byl popsán v [3]. Výsledné vztahy mají tvary

$$c = \frac{\sigma_{ci} [(1+2a)s + (1-a)m_b \sigma_{3n}] (s + m_b \sigma_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + (6am_b (s + m_b \sigma_{3n})^{a-1}) / ((1+a)(2+a))}}, \quad (2.6)$$

$$\varphi = \arcsin \left[\frac{6am_b (s + m_b \sigma_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b (s + m_b \sigma_{3n})^{a-1}} \right], \quad (2.7)$$

kde $\sigma_{3n} = \frac{\sigma_{3\max}}{\sigma_{ci}}$. Napětí $\sigma_{3\max}$ je horní limitní hodnota nejmenšího hlavního napětí, která je pro určení náhradních parametrů smykové pevnosti naprosto zásadní. Jeho význam a důsledky nevhodně zvolených hodnot byly demonstrovány autory článku např. v [6]. Je nutné si uvědomit, že spočtené náhradní parametry splňují ekvivalenci pouze v daném rozsahu napjatosti, přičemž míra ekvivalence není v celém rozsahu stejná (obr. 1). Spodní hranice rozsahu napětí je vždy definována v počátku funkce plasticity. V případě zvoleného velkého rozsahu napjatosti může být v oblastech malých napětí vzhledem k parabolickému tvaru HB funkce odezva získaná s použitím MC modelu poměrně odlišná. V úlohách, kde se předpokládají velmi malé hodnoty napětí v porovnání s intaktní pevností σ_{ci} , je vhodné být v odhadu předpokládaného oboru napjatosti a samotném využití této metody velmi obezřetný.

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a, \quad (2.1)$$

where σ_1 and σ_3 are the values of principal stresses at failure, m_b is the value of the Hoek-Brown constant reduced with respect to the geological observation of the rock mass, σ_{ci} is the uniaxial compressive strength of the intact rock. The constants s and a depend on the geological characteristics of the rock mass. The following relationships are empirically derived for the calculation of parameters reducing the strength of the rock mass according to [3]:

$$m_b = m_i e^{\frac{GSI-100}{28-14D}}, \quad (2.2)$$

$$s = e^{\frac{GSI-100}{9-3D}}, \quad (2.3)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{\frac{-GSI}{15}} - e^{\frac{-20}{3}} \right). \quad (2.4)$$

Over the years, several publications have gradually appeared dealing with the influence of the value of the middle stress and its inclusion into the failure criterion, for example [5]. Nevertheless, this work is limited to the description of the response controlled by equations (2.1) to (2.4).

2.1 Analogy of the Hoek-Brown model with the Mohr-Coulomb model

In the finite element method, the failure criterion has the meaning of the yield function defining the region of stress in which the response at the material point is elastic. The yield surface corresponding to the HB criterion is similar to the hexagonal pyramid typical of the MC model in the space of principal stresses. However, in contrast with the MC model, it takes into account the nonlinear development of the rock mass strength in relation to the current stress, and therefore the edges of the body have a parabolic shape. Let us recall the MC relationship between the principle stresses in the form

$$\sigma_1 = \frac{2c \cos \varphi}{1 - \sin \varphi} + \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \sigma_3, \quad (2.5)$$

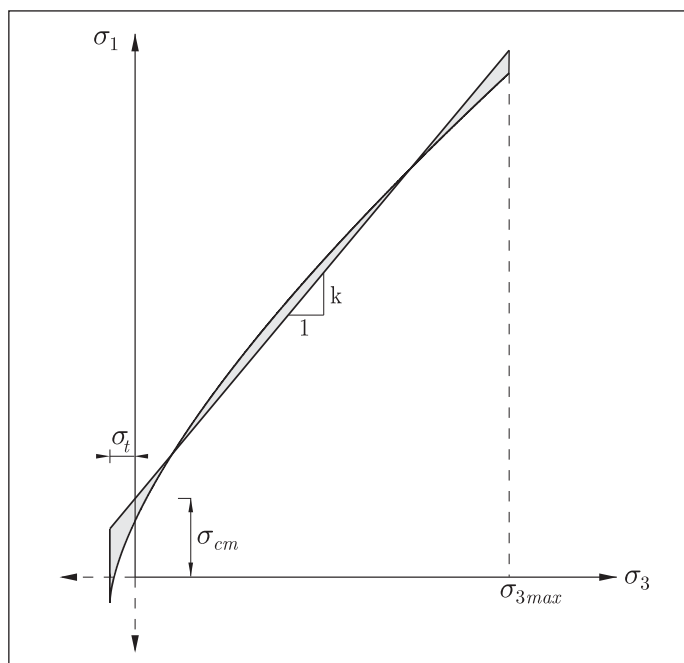
where c is the cohesion and φ is the angle of internal friction.

As already mentioned, despite their similarity, no direct relationship can be deduced between the yield functions in question. Therefore, to determine the equivalent shear parameters, the analytical solution to equation (2.1) is used, followed by the inseting of the straight line in the selected range of stress. The method of deriving relations for the equivalent shear strength parameters by replacing a nonlinear curve by a straight line and comparing the areas above and below the curve was described in [3].

$$c = \frac{\sigma_{ci} [(1+2a)s + (1-a)m_b \sigma_{3n}] (s + m_b \sigma_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + (6am_b (s + m_b \sigma_{3n})^{a-1}) / ((1+a)(2+a))}}, \quad (2.6)$$

$$\varphi = \arcsin \left[\frac{6am_b (s + m_b \sigma_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b (s + m_b \sigma_{3n})^{a-1}} \right], \quad (2.7)$$

where $\sigma_{3n} = \frac{\sigma_{3\max}}{\sigma_{ci}}$. The stress $\sigma_{3\max}$ is the upper limit value of the minimum principal stress, which is absolutely essential for determining the equivalent parameters of shear strength. Its significance and consequences of inappropriately chosen values were demonstrated by the authors of the article, for example in [6]. It is necessary to realise that the calculated equivalent parameters meet the equivalence only in the given range of stress, while the degree of equivalence is not the same in the whole range (see



Obr. 1 Význam proložení ekvivalentní MC podmínky porušení nelineárním HB kritériem

Fig. 1 Setting the equivalent MC failure criterion in nonlinear HB criterion

3. ÚLOHA STABILITY SVAHU

Kritériem pro posouzení stability svahu je stupeň bezpečnosti definovaný jako poměr skutečné smykové pevnosti vůči minimální smykové pevnosti, při které je svah stále stabilní. HB podmínka sama o sobě neposkytuje údaj o smykové pevnosti horninového masivu, a proto je vhodné k problému přistupovat skrze ekvivalenci s MC modelem. Po předchozích odstavcích se nabízí použití uvedených vztahů (2.6) a (2.7), výpočet náhradních parametrů smykové pevnosti a řešení úlohy plně za předpokladu MC podmínky plasticity. Je ale nutné si uvědomit, že hodnoty náhradní soudržnosti a úhlu smykového tření jsou konstantní a nezávislé na aktuálním stavu napětí. V případě řešení úlohy metodou konečných prvků to znamená, že přesnost ekvivalence bude závislá na tom, v jaké oblasti zvoleného rozsahu ekvivalence se bude každý jeden konečný prvek svou napjatostí nacházet. Dílčím problémem je potom samotné určení horní limitní hodnoty hlavního napětí σ_{3max} . Autoři [3] uvedli experimentálně odvozený vztah pro odhad horní hranice rozsahu ekvivalence pro úlohu stability svahu ve tvaru

$$\sigma_{3max} = 0.72\sigma_{cm} \left(\frac{\sigma_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.91}, \quad (3.1)$$

kde σ_{cm} je globální pevnost horninového masivu, γ je objemová tíha masivu a H je výška svahu. Globální pevností horninového masivu je označován první člen rovnice (2.5) a vztah pro její výpočet je tedy

$$\sigma_{cm} = \frac{2c \cos \varphi}{1 - \sin \varphi}, \quad (3.2)$$

přičemž dosazením rovnic pro ekvivalentní smykové parametry se získá vztah

$$\sigma_{cm} = \sigma_{ci} \frac{[m_b + 4s - a(m_b - 8s)] \left(\frac{m_b}{4} + s \right)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}. \quad (3.3)$$

Robustnější uchopení ekvivalence mezi HB a MC modelem v analýze stability svahu MKP nabídli autoři [5], kteří do funkce plasticity zahrnuli faktor redukcující pevnost horninového masivu. Funkce plasticity poté nabývá tvaru

Fig. 1). The lower bound of the range of stress is always defined at the apex of the yield function. In the case of the selected wide stress range, the response obtained using the MC model may be relatively different in areas of low stresses due to the parabolic shape of the HB function. In problems where very small stress values are assumed in comparison with the intact strength σ_{ci} , it is appropriate to be very careful in estimating the assumed range of stress and the use of this method itself.

3. SLOPE STABILITY ANALYSIS

The criterion for assessing slope stability is the factor of safety defined as the ratio of the actual shear strength to the minimum shear strength at which the slope is still stable. The HB criterion itself does not provide an indication of the shear strength of the rock mass, and therefore it is appropriate to approach the problem through equivalence with the MC model. After the previous paragraphs, the use of the above relationships (2.6) and (2.7) is offered – the calculation of the equivalent parameters of shear strength and the solution to the problem fully under the assumption of MC yield function. However, it is necessary to realise that the values of equivalent cohesion and angle of shear friction are constant and independent of the current state of stress. In finite element analysis, this means that the accuracy of the equivalence will depend on area which the stress of each finite element will be located in within the given range of equivalence. A partial problem is then the determination of the upper limit value of the principal stress σ_{3max} . The authors of [3] presented an experimentally derived relationship for estimating the upper limit of the equivalence range for the slope stability problem in shape

$$\sigma_{3max} = 0.72\sigma_{cm} \left(\frac{\sigma_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.91}, \quad (3.1)$$

where σ_{cm} is the global strength of the rock mass, γ is the unit weight of the rock mass and H is the height of the slope. The global strength of a rock mass is called the first term of equation (2.5) and the relation for its calculation is therefore

$$\sigma_{cm} = \frac{2c \cos \varphi}{1 - \sin \varphi}, \quad (3.2)$$

Substituting the equations for the equivalent shear parameters provides the relation

$$\sigma_{cm} = \sigma_{ci} \frac{[m_b + 4s - a(m_b - 8s)] \left(\frac{m_b}{4} + s \right)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}. \quad (3.3)$$

A more robust grasp of the equivalence between the HB and MC models in the FEM slope stability analysis was offered by the authors of [5], who included a factor reducing the strength of the rock mass into the yield function. The yield function then assumes the shape

$$f(\sigma_1, \sigma_3) = \sigma_1 - \sigma_3 - \frac{\sigma_{ci}}{\eta} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a, \quad (3.4)$$

where η is the above-mentioned reduction factor. Its value depends on the parameter γ which represents the reduction of shear strength parameters c and φ by the respective reduction factors γ_c and γ_φ , while $\gamma = \gamma_c = \gamma_\varphi$ is assumed as a standard. The relationship between the two reduction parameters was then derived on the basis of constructing an equivalent MC straight line tangential to the HB parabola at a particular stress point in the form

$$\eta = \frac{1}{2} \left[\gamma(2 + \tilde{f}') \sqrt{1 + \frac{\left(\frac{1}{\gamma^2} - 1 \right) (\tilde{f}')^2}{(2 + \tilde{f}')^2}} - \tilde{f}' \right], \quad (3.5)$$

$$f(\sigma_1, \sigma_3) = \sigma_1 - \sigma_3 - \frac{\sigma_{ci}}{\eta} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a, \quad (3.4)$$

kde η je zmíněný redukční faktor. Jeho hodnota je závislá na parametru γ , který představuje redukci smykových parametrů pevnosti c a φ příslušnými redukčními součiniteli γ_c a γ_φ , přičemž standardně se předpokládá $\gamma = \gamma_c = \gamma_\varphi$. Vztah mezi dvěma redukčními parametry poté odvodili na základě sestrojení tečné ekvivalentní MC přímky k HB parabole v konkrétním bodě napjatosti ve tvaru

$$\eta = \frac{1}{2} \left[\gamma (2 + \tilde{f}') \sqrt{1 + \frac{\left(\frac{1}{\gamma^2} - 1 \right) (\tilde{f}')^2}{(2 + \tilde{f}')^2}} - \tilde{f}' \right], \quad (3.5)$$

kde \tilde{f} představuje poslední člen rovnice (3.4) a $\tilde{f}' = \frac{\partial \tilde{f}(\sigma_3)}{\partial \sigma_3}$.

Redukční parametr η je tedy přímo závislý na aktuálním stavu napjatosti. K jeho výpočtu dochází v každém integračním bodě konečného prvku v rámci daného zatěžovacího kroku. To je zásadní rozdíl od řešení ekvivalence mezi HB a MC modelem určením jediné dvojice náhradních parametrů smykové pevnosti pro kompletní úlohu.

3.1 Příklad řešení úlohy stability svahu

V metodě konečných prvků se pro získání stupně stability zpravidla používá postupná redukce smykových parametrů c a φ . Protože v HB podmínce běžně užívané parametry smykové pevnosti nefigurují, byl představen v úvodu této kapitoly parametr η . Určení stupně stability potom spočívá v postupné redukci pevnostních charakteristik daného modelu parametrem γ a výpočtu napjatosti v každém redukčním kroku. Divergence výpočetní metody má poté význam kolapsu konstrukce a poslední redukční součinitel, při kterém je dosaženo konvergence, je roven stupni stability. Konkrétní úloha stability svahu byla řešena přímým použitím HB modelu a redukci pevnosti pomocí ekvivalence s MC modelem závislé na aktuální napjatosti. Pro další porovnání byla provedena také analýza metodou přímého použití MC modelu s průměrnými náhradními smykovými parametry. V rámci řešení úlohy byla dále provedena parametrická studie, jejímž cílem bylo posoudit vliv geologických vstupních údajů o horninovém masivu (indexu GSI a faktoru D) na hodnoty náhradních smykových parametrů a míru shody mezi stupněm stability získaným použitím HB modelu se zavedením parametru η a tím, který se získá použitím MC modelu s náhradními smykovými parametry. Pevnostní charakteristiky intaktní horniny přitom zůstávají pro všechny výpočty stejné.

Tab. 1 Parametry horninového masivu – Hoek-Brownův materiálový model

Objemová tíha γ	25,0 kN/m ³
Poissonovo číslo ν	0,3
Modul E_{def}	410 MPa
Prostá pevnost v tlaku σ_{ci}	30,0 MPa
Hoek-Brownova konstanta m_i	2,0

Zadání samotné úlohy tvoří svah o výšce 10 m a sklonu 35,5°. Numerický model pokrývá síť trojúhelníkových šestiuzlových konečných prvků o maximální délce hrany 0,5 m (obr. 2). Podloží je tvořeno horninovým masivem s pevnostními a přetvárnými charakteristikami uvedenými v tab. 1. Geologické charakteristiky byly v rámci parametrické studie měněny pro získání představy o jejich vlivu na výsledné stupně stability.

3.2 Interpretace a vyhodnocení výsledků

Výsledky provedené série výpočtů jsou patrné z tab. 2 a 3. První ze zmíněných tabulek shrnuje výsledné hodnoty stupňů stability pro horninové masivy s indexem GSI pohybujícím se mezi hodnotami

where \tilde{f} represents the last member of equation (3.4) and $\tilde{f}' = \frac{\partial \tilde{f}(\sigma_3)}{\partial \sigma_3}$. The reduction parameter η is therefore directly

dependent on the current state of stress. It is calculated at each integration point of the finite element within the given loading step. This is a fundamental difference from solving the equivalence between the HB and MC models by determining a single pair of equivalent shear strength parameters for the complete problem.

3.1 Example of solving the slope stability problem

In the finite element method, a gradual reduction of the shear parameters c and φ is usually used to obtain the factor of safety. Since the shear strength parameters are not commonly used in the HB criterion, the parameter η was introduced at the beginning of this chapter. The determination of the factor of safety then consists in the gradual reduction of the strength characteristics of the given model by the parameter γ and the calculation of the stress in each reduction step. The divergence of the computational method then has the meaning of the collapse of the structure and the last reduction factor at which convergence is achieved is equal to the factor of safety. The specific problem of slope stability was solved by the direct use of the HB model and reduction of the strength by means of equivalence with the MC model depending on the current stress. For further comparison, an analysis was also conducted using directly the MC model method with average equivalent shear parameters. As part of the problem solution, a parametric study was performed to assess the influence of geological input data on the rock mass (GSI index and D factor) on the values of equivalent shear parameters and the degree of agreement between the factor of safety obtained using the HB model with the introduction of the parameter η and the factor of safety which is obtained using the MC model with equivalent shear parameters. The strength characteristics of the intact rock remain the same for all calculations.

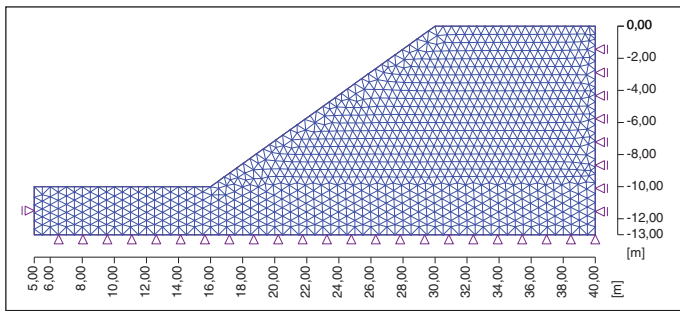
Table 1 Rock mass parameters – Hoek-Brown material model

Unit weight γ	25.0kN/m ³
Poisson's ratio ν	0.3
Modulus E_{def}	410MPa
Uniaxial compressive strength σ_{ci}	30.0MPa
Hoek-Brown constant m_i	2.0

The task itself consists of a slope with a height of 10m and a slope of 35.5°. The numerical model is covered by a mesh of triangular six-node finite elements with a maximum edge length of 0.5m (see Fig. 2). Strength and deformation characteristics of the rock mass are presented in Table 1. The geological characteristics were changed in a parametric study to get an idea of their effect on the resulting factors of safety.

3.2 Interpretation and assessment of results

The results of the completed series of calculations are evident from Tables 2 and 3. The first of the above-mentioned tables summarises the resulting values of factors of safety for rock masses with the GSI index varying between 5.0 and 20.0 (quality index $GSI = 100$ corresponds to intact rock). For all calculations presented in this table, the disturbance factor is $D = 0$, which means that the rock mass is not disturbed by previous geotechnical operations. The second and third lines in the table show the influence of the value of the quality index on the calculated equivalent parameters of the shear strength of the rock mass. The last line then summarises the effect of GSI on the resulting factor of safety. In addition to the influence of the geological quality of the rock mass on the stability of the slope, it is also possible to assess how the degree of agreement between the results obtained



Obr. 2 Numerický model svahu, síť konečných prvků
Fig. 2 Numerical model of slope, finite element mesh

5,0 a 20,0 (intaktní hornině odpovídá index kvality $GSI = 100$). Pro všechny výpočty uvedené v této tabulce je faktor porušení $D = 0$, to znamená, že masiv není porušen předchozími geotechnickými pracemi. Druhý a třetí řádek tabulky ukazuje vliv hodnoty indexu kvality na vypočtené náhradní parametry smykové pevnosti horninového masivu. Poslední řádek potom shrnuje vliv GSI na výsledný stupeň stability. Kromě vlivu geologické kvality masivu na stabilitu svahu lze také na základě uvedených hodnot zhodnotit, jak se při měnících se parametrech masivu mění míra shody mezi výsledky získanými použitím HB modelu a MC modelu s náhradní smykovou pevností. Čím lepší je kvalita masivu (větší GSI), tím větší je nutný rozsah napjatosti pro ekvivalenci mezi dvěma modely. Zároveň stoupá riziko, že se napětí na prvku bude pohybovat v oblastech horší shody. Z výsledkové tabulky se zdá, že série výpočtů toto riziko potvrdila. Čím větší je vstupní hodnota indexu kvality, tím větší je rozdíl mezi získanými stupni stability, přičemž HB modelem byl pro všechny případy získán stupeň stability vyšší. Obr. 3 ukazuje porovnání získaných smykových ploch a celkového posunutí pro variantu $GSI = 15,0$ a $D = 0,0$.

Tab. 3 opět ukazuje, jak se mění náhradní smykové parametry a stupně stability, tentokrát v závislosti na faktoru porušení D . Pro všechny uvedené varianty výpočtu přitom byla zvolena hodnota indexu kvality $GSI = 15$. Faktor porušení se obecně pohybuje mezi hodnotami 0 až 1. Podobně jako u předchozí tabulky platí, že u horninového masivu menší kvality je shoda mezi získanými stupni stability větší a HB model poskytuje výsledky optimističtější. Výjimkou jsou poslední dva sloupce tabulky, kde nepatrně větší hodnota stupně stability byla získána MC modelem. Autoři se domnívají, že v horninovém masivu takto nízké kvality charakteru spíše zemín by napjatost v oblasti smykové plochy mohla dosahovat hodnot blízkých se vrcholu paraboly HB modelu.

using the HB model and the MC model with equivalent shear strength changes with changing rock mass parameters. The better the quality of the rock mass (the larger GSI), the greater the range of stress required for equivalence between the two models. At the same time, the risk that the stress on the element will move in areas of poorer agreement increases. From the table of results, it appears that a series of calculations confirmed this risk. The larger the input value of the quality index, the greater the difference between the obtained factors of safety, while a higher factor of safety was obtained by the HB model for all cases. Fig. 3 shows a comparison of the obtained shear surfaces and the total displacement for the variant $GSI = 15,0$ and $D = 0,0$.

Table 3 again shows how the equivalent shear parameters and factors of safety change, this time depending on the disturbance factor D . The value of the quality index $GSI = 15$ was chosen for all the above-mentioned calculation variants. The disturbance factor generally ranges from 0 to 1. As with the previous table, the agreement between the obtained stability levels is greater for lower quality rock mass and the HB model provides more optimistic results. The last two columns of the table, where a slightly larger value of the factor of safety was obtained by the MC model, are exceptions. The authors believe that in such a low quality rock mass of the character of soils, the stress in the area of the shear surface could reach values approaching the apex of the HB model parabola.

4. UNDERGROUND EXCAVATION

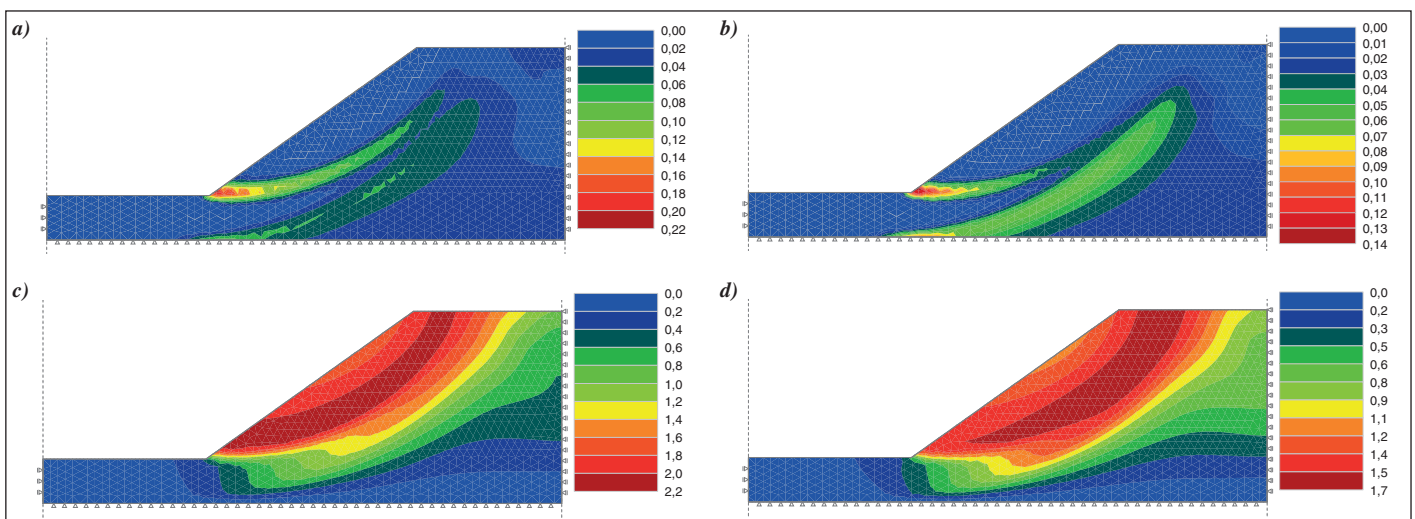
As in the case of the slope stability problem, the authors of [3] derived a relationship for determining the upper limit value of the principal stress defining the equivalence range even for tunnel structures. They thus made it possible to use the following relationship to estimate the value of σ_{3max}

$$\sigma_{3max} = 0.47 \sigma_{cm} \left(\frac{\sigma_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.94}, \quad (4.1)$$

where γ is in this case the unit weight of the rock mass and H is the depth of the tunnel.

4.1 Numerical model of excavation of a circular opening

In this chapter, the real task of the underground excavation of a circular opening currently used for the metro line route will be analysed. The problem definition and the input parameters



Obr. 3 Stabilita svahu v horninovém masivu s parametry $GSI = 15,0$, $D = 0,0$: Smyková plocha zobrazená pomocí $E_{d,pl}$ (%) a) HB, b) MC, celkový posun d (mm) c) HB, d) MC

Fig. 3 Stability of slope in rock mass with $GSI = 15,0$, $D = 0,0$: Shear surface shown by $E_{d,pl}$ (%) a) HB, b) MC, total displacement d (mm) c) HB, d) MC

Tab. 2 Výsledky série výpočtů pro $D = 0,0$

Index kvality	GSI (-)	5,0	5,0	10,0	10,0	15,0	15,0	20,0	20,0
Náhradní smykové parametry	c (kPa)	–	20,1	–	32,2	–	47,1	–	66,7
	φ (°)	–	20,9	–	25,6	–	29,5	–	32,5
Materiálový model		HB	MC	HB	MC	HB	MC	HB	MC
Stupeň stability		1,37	1,33	1,95	1,88	2,58	2,48	3,31	3,18

Tab. 3 Výsledky série výpočtů pro $GSI = 15,0$

Faktor porušení	D (-)	0,0	0,0	0,25	0,25	0,5	0,5	0,75	0,75
Náhradní smykové parametry	c (kPa)	–	47,1	–	34,8	–	24,6	–	15,9
	φ (°)	–	29,5	–	26,0	–	21,5	–	15,9
Materiálový model		HB	MC	HB	MC	HB	MC	HB	MC
Stupeň stability		2,58	2,48	2,03	1,98	1,52	1,50	1,00	1,03

Table 2 Results of a series of calculations for $D = 0.0$

Quality index	GSI (-)	5.0	5.0	10.0	10.0	15.0	15.0	20.0	20.0
Equivalent shear parameters	c (kPa)	–	20.1	–	32.2	–	47.1	–	66.7
	φ (°)	–	20.9	–	25.6	–	29.5	–	32.5
Material model		HB	MC	HB	MC	HB	MC	HB	MC
Factor of safety		1.37	1.33	1.95	1.88	2.58	2.48	3.31	3.18

Table 3 Results of a series of calculations for $GSI = 15.0$

Failure factor	D (-)	0.0	0.0	0.25	0.25	0.5	0.5	0.75	0.75
Equivalent shear parameters	c (kPa)	–	47.1	–	34.8	–	24.6	–	15.9
	φ (°)	–	29.5	–	26.0	–	21.5	–	15.9
Material model		HB	MC	HB	MC	HB	MC	HB	MC
Factor of safety		2.58	2.48	2.03	1.98	1.52	1.50	1.00	1.03

4. ÚLOHA PODZEMNÍ EXKAVACE

Podobně jako v případě úlohy stability svahu autoři [3] odvodili vztah pro určení horní hraniční hodnoty hlavního napětí definující rozsah ekvivalence i pro tunelové konstrukce. Pro odhad hodnoty $\sigma_{3\max}$ tak umožnili použít vztah

$$\sigma_{3\max} = 0.47 \sigma_{cm} \left(\frac{\sigma_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.94}, \quad (4.1)$$

kde γ je v tomto případě objemová tíha horninového masivu a H je hloubka tunelu.

4.1 Numerický model exkavace kruhového výrubu

V této kapitole bude rozebrána reálná úloha podzemní exkavace kruhového výrubu v současné době sloužícího pro vedení linky metra. Zadání úlohy a vstupní parametry vycházejí z předchozí práce autorky [7]. Odezva horninového masivu byla simulována za předpokladu přímého použití HB materiálového modelu v numerickém výpočtu a porovnána s odezvou získanou při použití náhradních smykových parametrů pevnosti za předpokladu standardního MC modelu a také modifikovaného MC modelu (MMC).

Jedná se o kruhový výrub o průměru 6 m ražený pomocí plno-profilového tunelovacího stroje (TBM). V řešeném úseku ražba výrubu probíhala vrstvou horninového masivu tvořeného vápencem velmi nízké kvality s vysokou porozitou. Nadloží je tvořeno vrstvou jílovité zeminy nízké až střední plasticity o proměnné mocnosti. V místě posuzovaného řezu je osa výrubu v hloubce 47,5 m, přičemž hloubka geologického rozhraní je 34 m. Parametry zastížených geotypů jsou uvedené v tab. 4 a 5. S ohledem na možnosti programu Geo5 MKP byl vytvořen numerický model v podmínkách rovinné deformace (obr. 4) a použita standardní metoda exkavace. Podle studie vlivu počtu konečných prvků na výsledné namáhání ostění [7] byla vytvořena síť konečných prvků s délkou hrany prvku 8 m na hranicích modelu a 0,5 m v oblasti výrubu. V první fázi výpočtu dochází k analýze geostatické napjatosti. Protože samotný výrub vyvolává zanedbatelné deformace na povrchu terénu, viz následující kapitola s interpretací výsledků, lze již v druhé fázi výpočtu volit stoprocentní exkavaci.

are based on the previous work of the author [7]. The rock mass response was simulated assuming the direct use of the HB material model in the numerical calculation and was compared with the response obtained using the equivalent shear strength parameters assuming the standard MC model as well as the modified MC model (MMC).

This is a circular excavation with a diameter of 6m excavated using a full-face tunnel boring machine (TBM). In the section being solved, the excavation of the tunnel ran through a layer of rock mass formed by very low quality limestone with high porosity. The overburden consists of a variable thickness layer of low to medium plasticity clayey soil. At the place of the section being assessed, the axis of the excavation is at a depth of 47.5m, while the geological interface is at the depth of 34m. The parameters of the encountered geotypes are presented in Tables 4 and 5. With regard to the possibilities of the Geo5 FEM program, a numerical model was created in the plain strain conditions (see Fig. 4) and the standard

excavation method was used. According to a study of the influence of the number of finite elements on the resulting internal forces in the lining [7], a mesh of finite elements was created with an element edge length of 8m at the model boundaries and 0.5m in the excavation area. The geostatic stress is analysed in the first phase of the calculation. Since the excavation itself induces negligible deformations on the terrain surface, see the following chapter with the interpretation of the results, one hundred per cent excavation can be chosen already in the second phase of the calculation.

Table 4 Parameters of overlying clay – Mohr-Coulomb material model

Unit weight γ	19.6kN/m ³
Poisson's ratio ν	0.4
Modulus E_{def} on surface	15.0MPa
Modulus E_{def} at layer base	40.0MPa
Unloading modulus E_{ur}	80.0MPa
Angle of internal friction φ	25.0°
Cohesion c	10.0kPa

Table 5 Parameters of rock mass – Hoek-Brown material model

Unit weight γ	21.7kN/m ³
Poisson's ratio ν	0.3
Modulus E_{def}	630.0MPa
Uniaxial compressive strength σ_{ci}	50.0MPa
Hoek-Brown constant m_i	12.0
Quality Index GSI	15.0
Disturbance Factor D	0.0

Based on the characteristics given in Table 5, the remaining parameters entering the HB condition can be obtained by substituting into the relations (2.2), (2.3) and (2.4) with values

$$m_b = 0.576484, s = 0.000079, a = 0.561101.$$

Equation (3.2) is used to calculate the global strength of the rock mass and the value is further inserted into equation (4.1), which is used to obtain the upper limit of the range of equivalence. By

Tab. 4 Parametry nadložních jíílů – Mohr-Coulombův materiálový model

Objemová tíha γ	19,6 kN/m ³
Poissonovo číslo ν	0,4
Modul E_{def} na povrchu	15,0 MPa
Modul E_{def} na bázi vrstvy	40,0 MPa
Modul odtížení E_{ur}	80,0 MPa
Úhel vnitřního tření φ	25,0 °
Koheze c	10,0 kPa

Tab. 5 Parametry horninového masivu – Hoek-Brownův materiálový model

Objemová tíha γ	21,7 kN/m ³
Poissonovo číslo ν	0,3
Modul E_{def}	630,0 MPa
Prostá pevnost v tlaku σ_{ci}	50,0 MPa
Hoek-Brownova konstanta m_i	12,0
Index kvality GSI	15,0
Faktor porušení D	0,0

Na základě charakteristik uvedených v tab. 5 lze dosazením do vztahů (2.2), (2.3) a (2.4) získat zbývající parametry vstupující do HB podmínky o hodnotách

$$m_b = 0,576484, s = 0,000079, a = 0,561101.$$

Pro výpočet globální pevnosti horninového masivu je použit vztah (3.2) a hodnota je dále dosazena do rovnice (4.1), pomocí které se získá horní hraniční hodnota rozsahu ekvivalence. Dosazením do (2.6) a (2.7) se pak získají hodnoty náhradních parametrů smykové pevnosti

$$c = 140 \text{ kPa}, \varphi = 44^\circ.$$

4.2 Porovnání výsledků a zhodnocení ekvivalence

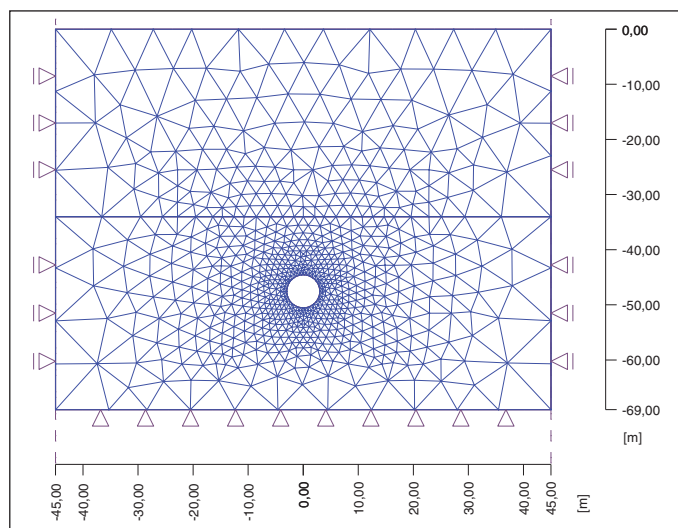
V rámci vyhodnocení série numerických výpočtů byl kladen důraz zejména na získané hodnoty posunů ve třech charakteristických bodech – pokles v nejnižším místě poklesové kotliny na terénu, pokles vrcholu klenby a zvednutí dna výrubu. Posuny získané numerickým výpočtem za použití HB podmínky porušení a MC nebo MMC podmínky porušení jsou shrnuté v tab. 6. Rozdíly mezi hodnotami posunů ve zmíněných bodech v závislosti na použitém modelu se pohybují v řádech desetin milimetrů, přičemž HB model poskytuje hodnoty nejvyšší. Lze tedy odhadovat, že předpoklady pro použití ekvivalence mezi dvěma materiálovými modely byly uspokojivé, ačkoliv v řešené úloze nedochází k vývoji významných plastických deformací (obr. 5c, 5d). Obr. 5a, 5b ukazují průběhy svislých posunů v celé doméne výpočtu pro varianty výpočtu s HB modelem a standardním MC modelem. Výpočet exkavace byl proveden také pro horninový masiv s nižším odhadem geologického indexu ($GSI = 10$), kdy v okolí výrubu dochází k většímu rozvoji plastických deformací. V takovém případě se sledované posuny lišily více. Dá se předpokládat, že s narůstajícím rozsahem plastické oblasti by míra ekvivalence mezi HB a MC modelem mohla dále klesat.

Tab. 6 Hodnoty posunů získaných za předpokladu odlišných podmínek porušení

Podmínka porušení	Pokles terénu (mm)	Pokles koruny (mm)	Zvednutí dna (mm)
HB	2,4	10,3	7,4
MC	2,2	9,7	7,2
MMC	2,1	9,3	7,0
HB ($GSI = 10$)	3,0	12,2	8,1
MC ($GSI = 10$)	2,7	11,1	7,8

5. ZÁVĚR

Hlavním cílem příspěvku bylo představit čtenářům možnosti přístupů k použití dvou podmínek porušení, mezi kterými je určitá analogie, v řešení úloh metodou konečných prvků a upozornit na

Obr. 4 Numerický model výrubu v horninovém masivu, síť konečných prvků
Fig. 4 Numerical model of excavated opening in rock mass, finite element mesh

inserting into (2.6) and (2.7) we then obtain the values of the equivalent shear strength parameters

$$c = 140 \text{ kPa}, \varphi = 44^\circ.$$

4.2 Comparison of results and assessment of equivalence

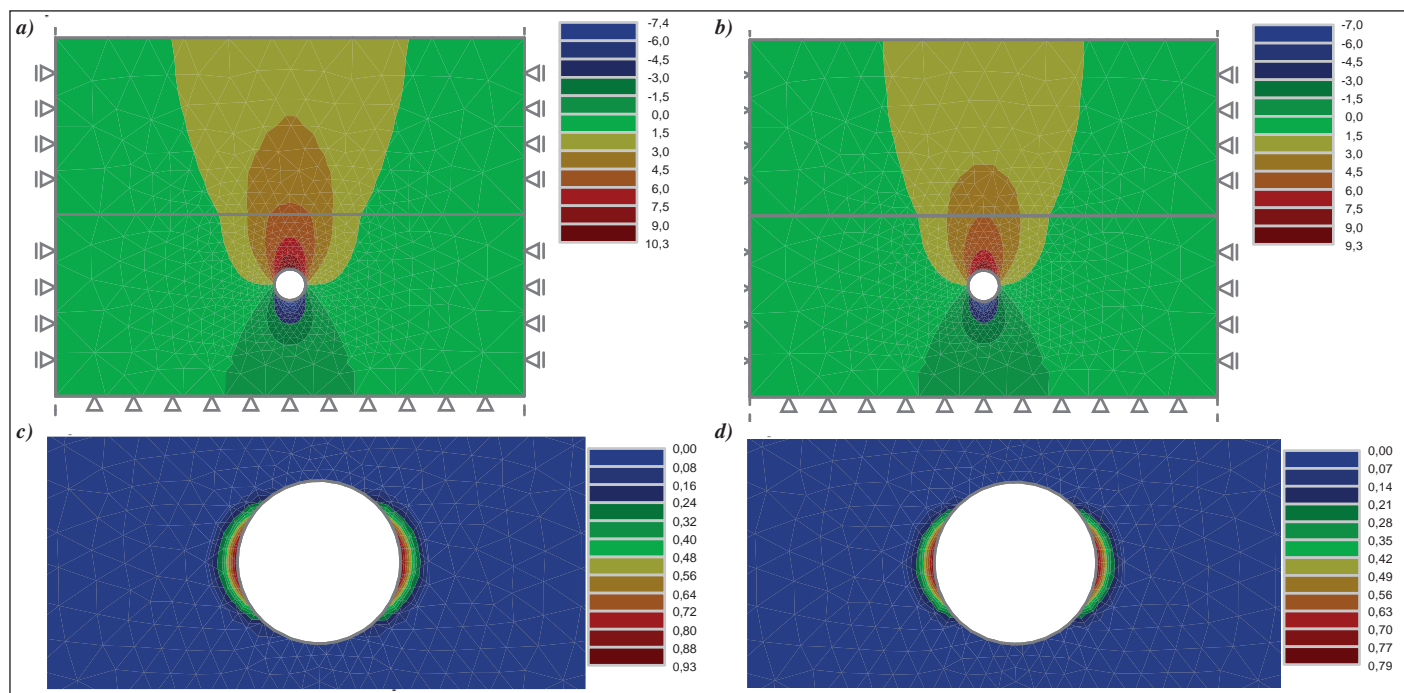
As part of the assessment of a series of numerical calculations, emphasis was placed on the obtained values of displacements at three characteristic points – maximum terrain settlement, subsidence of the tunnel crown and bulging of the bottom of the excavation. Displacements obtained by numerical calculation using HB failure criterion and MC or MMC failure criteria are summarised in Table 6. The differences between the values of displacements at the above-mentioned points, depending on the model used, are in the order of tenths of a millimetre, while the HB model provides the highest values. Thus, it can be estimated that the assumptions for the use of equivalence between the two material models were satisfactory, although no significant plastic deformations develop in the problem being solved (Figures 5c, 5d). Figures 5a, 5b show vertical displacement curves throughout the calculation domain for calculation variants using the HB and standard MC models. The calculation of excavation was also performed for the rock mass with a lower estimated geological index ($GSI = 10$), when there is a greater development of plastic deformations in the surroundings of the excavation. In such a case, the deviations of the monitored displacements differed more. It can be assumed that with the increasing extent of the plastic area, the degree of equivalence between the HB and MC models could further decrease.

Table 6 Displacement values obtained under different failure criteria

Failure criterion	Terrain (mm)	Crown (mm)	Bottom (mm)
HB	2.4	10.3	7.4
MC	2.2	9.7	7.2
MMC	2.1	9.3	7.0
HB ($GSI = 10$)	3.0	12.2	8.1
MC ($GSI = 10$)	2.7	11.1	7.8

5. CONCLUSION

The main objective of the paper was to introduce readers to the possibilities of approaches to the use of two failure criteria, between which there is a certain analogy, in solving problems by the finite element method and to point out possible pitfalls. As part of the



Obr. 5 Svislé posuny po exkavaci d_z (mm) a) HB, b) MC, rozsah plastické deformace $E_{d,pl}$ (%) c) HB, d) MC

Fig. 5 Vertical displacements after excavation d_z (mm) a) HB, b) MC, extent of plastic deformation $E_{d,pl}$ (%) c) HB, d) MC

možná úskalí. V rámci porovnání uváděných metod byla provedena série výpočtů, přičemž se autoři zaměřili na dvě nejčastější úlohy řešené v horninových masivech, a to úlohy stability svahu a podzemní exkavace. Zatímco v případě exkavace výrubu bylo dosaženo dobré shody mezi odezvami získanými Hoek-Brownovým a Mohr-Coulombovým modelem, pro příklad stability svahu se prokázalo, že míra shody závisí na zvoleném rozsahu napjatosti a s větší kvalitou horninového masivu se snižuje, ačkoliv odchylky nebyly diametrální. Zásadní význam na stupeň stability pak mají charakteristiky popisující geologickou kvalitu horninového masivu. Studie potvrdila význam důsledného posouzení kvality masivu kvalifikovaným a zkušeným inženýrským geologem.

Poděkování

Článek vznikl za podpory projektů SGS22/030/OHK1/1T/11 a SGS22/039/OHK1/1T/11.

Ing. TEREZA ŽALSKÁ, tereza.zalska@fsv.cvut.cz,
prof. Ing. MICHAL ŠEJNOHA, Ph.D., sejnom@fsv.cvut.cz,
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Recenzoval Reviewed: Ing. Tomáš Janda, Ph.D.

comparison of the presented methods, a series of calculations were performed, while the authors focused on the two most common problems solved in rock masses, namely the problems of slope stability and underground excavation. While in the case of excavation of an underground opening a good agreement was obtained between the responses obtained by the Hoek-Brown and Mohr-Coulomb models, it was proved for the example of slope stability that the degree of agreement depends on the selected range of stress and decreases with better rock mass quality, although the deviations were not diametrical. The characteristics describing the geological quality of the rock mass are of crucial importance for the factor of safety. The study confirmed the importance of a thorough assessment of the quality of the rock mass by a qualified and experienced engineering geologist.

Acknowledgements

The paper was created with the support of projects SGS22/030/OHK1/1T/11 and SGS22/039/OHK1/1T/11.

Ing. TEREZA ŽALSKÁ, tereza.zalska@fsv.cvut.cz,
prof. Ing. MICHAL ŠEJNOHA, Ph.D., sejnom@fsv.cvut.cz,
Faculty of Civil Engineering of CTU in Prague

LITERATURA / REFERENCES

- [1] HOEK, E., BROWN, E.T. *Underground excavations in rock*. London: Institution of Mining and Metallurgy, 1980.
- [2] E. HOEK, BROWN, E.T. Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 34.8: 1165–1186, 1997.
- [3] HOEK, E., CARRANZA-TORRES, C., CORKUM, B. Hoek-Brown failure criterion – 2002 edition. *Proceedings of the 5th North American Symposium – NARMS-TAC 2002*.
- [4] POKLOPOVÁ, T. *Predikce odezvy geotechnické úlohy užitím Hoek-Brownova modelu – implementace a verifikace*. Diplomová práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2020.
- [5] BENZ, T., SCHWAB, R., KAUTHER, R., VERMEER, P. A. A Hoek-Brown Criterion with intrinsic material strength factorization. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 45: 210–222, 2008.
- [6] POKLOPOVÁ, T., PAVELCOVÁ, V., ŠEJNOHA, M. Comparing the Hoek-Brown and Mohr-Coulomb failure criteria in FEM analysis. *Acta Polytechnica CTU Proceedings* 30: 69–75, 2021.
- [7] POKLOPOVÁ, T. *Posouzení reálné podzemní konstrukce na účinky zemětřesení – pseudostatický výpočet*. Bakalářská práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2020.

ANALÝZA Z DIAGNOSTICKÝCH DAT ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ TUNELOVÝCH STAVEB

ANALYSIS OF DIAGNOSTIC DATA OF TUNNEL STRUCTURES CONTROL SYSTEMS

JIŘÍ ŠTEFAN, TOMÁŠ TICHÝ, JIŘÍ BROŽ

ABSTRAKT

Cílem článku je ukázat možnosti jednoduché analýzy dat získaných z řídicího systému tunelové stavby. Analýza má velký přínos pro řízení údržby tunelového systému a zpřesnění životního cyklu jednotlivých technologických částí. Zásadní aspekty tématu vycházejí z expertního posuzování při hlavních prohlídkách technologického vybavení tunelů na pozemních komunikacích. Analýza dat a dalších provozních záznamů může poskytnout rychlý obraz o celkové funkci technologického vybavení tunelové stavby za posuzované období. Součástí textu jsou konkrétní ukázky poruch tunelové technologie včetně algoritmu přístupu k dané problematice.

ABSTRACT

The aim of the article is to show the possibilities of a simple analysis of data obtained from the control system of a tunnel structure. The analysis has a great benefit for managing the maintenance of the tunnel system and specifying the life cycle of individual technological parts. The fundamental aspects of the topic are based on expert assessment during the main inspections of the technological equipment of motorway tunnels. Analysis of data and other operation records can provide a quick picture of the overall function of the tunnel's technological equipment during the period under review. The text includes specific examples of tunnel technology failures, including an algorithm for approaching the issue.

ÚVOD

Konstrukce tunelové stavby se dá rozdělit na dvě hlavní části, a to stavební a technologickou. V případě tunelových staveb na pozemních komunikacích je technologické vybavení určené pro zajištění bezpečnosti provozu velmi rozsáhlé a u velkých tunelových staveb zahrnuje až desítky provozních souborů. Většina systémů technologického vybavení je připojena na centrální řídicí systém (ŘS), přes který je provoz konkrétní stavby metodou dispečerského řízení monitorován i řízen [1–4].

ŘS tunelových staveb je vždy založen na průmyslových standardech a obsluhu poskytuje informace o stavu systému potřebné pro rozhodování. Obsluha je informována prostřednictvím grafického uživatelského rozhraní (GUI) na svém pracovišti. Zároveň jsou všechna data archivována na datovém úložišti [2]. Právě tato archivní data může zpracovatel hlavní prohlídky použít a získat tak poznatky o chování konkrétního prvku technologického vybavení v delším časovém úseku, či analyzovat vzájemné vztahy mezi jednotlivými provozními soubory. Data z řídicího systému je možno exportovat na externí medium a jejich vyhodnocení realizovat mimo řídicí systém.

VSTUPNÍ DATA

ŘS tunelu poskytuje možnost exportu provozních dat, většinou ve formátu *.csv. Jako nástroj pro analýzu dat exportovaných z řídicího systému byl proto zvolen program MS Excel. Data použitá pro analýzu a prezentovaná v tomto článku jsou z roku 2020 a pocházejí z Cholupického tunelu na stavbě 513 a Lochkovského tunelu na stavbě 514 Silničního okruhu kolem Prahy. Datový záznam binárních veličin v Lochkovském tunelu za rok 2020 má velikost cca 2 156 MB. Pro analýzu všech dat je možné časové období zúžit, nebo analyzovat pouze záznamy s vyšším indexem důležitosti. Pro tuto analýzu byla zvolena druhá cesta. Datový soubor obsahuje pouze události třídy A1 a A2 alarmových hlášení, jež mají vliv na zásadní události tunelového systému s vykazováním četnosti poruchových stavů. Rozlišení závažnosti alarmu se odráží v provozní

INTRODUCTION

The structure of a tunnel can be divided into two main parts, namely structural and technological. In the case of motorway tunnel structures, the technological equipment designed to ensure the safety of operation is very extensive and in the case of large tunnel structures it includes up to dozens of technological objects. Most technological equipment systems are connected to a central control system (ŘS), through which the operation of a specific structure is monitored and controlled by the method of dispatching control [1–4].

The control system (ŘS) of tunnel structures is always based on industry standards and provides the operator with information about the state of the system needed for decision-making. The operator is informed via a graphical user interface (GUI) at their workplace. At the same time, all data are archived in the data storage [2]. It is this archival data that the processor of the main inspection can use to obtain knowledge about the behavior of a particular element of technological equipment over a longer period of time, or to analyze the interrelationships between individual technological objects. Data from the control system can be exported to an external medium and their evaluation can be performed outside the control system.

INPUT DATA

The tunnel control system provides the possibility of exporting operational data, mostly in *.csv format. Therefore, the MS Excel program was chosen as a tool for the analysis of data exported from the control system. The data used for the analysis and presented in this article are from 2020 and come from the Cholupice tunnel on structure 513 and the Lochkov tunnel on structure 514 of the ring road around Prague. The data record of binary quantities in the 514 Lochkov tunnel for the year 2020 has a size of approximately 2,156MB. To analyze all data, we can narrow the time period, or analyze only records with a higher importance index. The second route was chosen for this analysis. The data file contains only class A1 and A2 alarm message events that affect the critical events of

dokumentaci a z ní nejvíce v havarijních kartách, kde je popsáno modelové řešení krizových situací.

Obecně je hlášení rozděleno do následujících kategorií [5]:

1. A0 – A2 – alarmová hlášení (číselné rozlišení 0 [nejméně závažné] až 2 [nejzávažnější]);
2. D0 – D2 – dopravní události (číselné rozlišení 0 [nejméně závažné] až 2 [nejzávažnější]);
3. E – události v energetice (v systému napájení dalších systémů);
4. Sys – systémové (informace z ŘS).

Druhým důležitým podkladem jsou záznamy o servisních zásazích v tunelové technologii (údržba, opravy či revize). V analyzovaných časových úsecích je nutno výsledky analýzy se servisními záznamy vhodně porovnávat, protože mohly být těmito nestandardními stavy (např. vypnutí zařízení, přepnutí do servisního módu) ovlivněny.

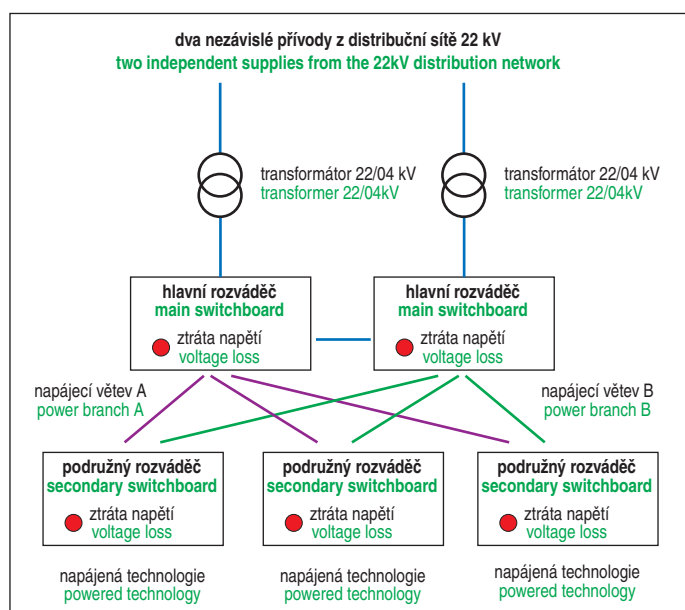
VLIV NAPÁJECÍ SOUSTAVY

Velká většina technologického vybavení tunelové stavby je napájena elektrickou energií. Případné výpadky její dodávky zásadně ovlivňují činnost napájené technologie a v analýze je třeba určit, co bylo příčinou zkoumaného nestandardního stavu. Proto je vhodné v prvním kroku prověřit chování napájecí soustavy, které se promítá do dalších technologií formou poruchového hlášení závažnosti A0 až A2. Události v energetice E jen informují, zda je zařízení odpojeno, nebo připojeno k napájení.

Řešení napájecí soustavy silničních tunelů používá standardizovaná řešení. Typické schéma je uvedeno na obr. 1. Červenou barvou jsou na něm uvedeny měřicí body, od jejichž stavu je odvozen signál „Ztráta napětí“.

Toto schéma je sice zjednodušené, ale je z něj dobře patrná celá napájecí trasa až k jednotlivým spotřebičům. Řídicí systém kontroluje přítomnost správného napájecího napětí v každém rozváděči, při jehož ztrátě (rozváděč není napájen) vzniká signál „Ztráta napětí“ (zkrácený název události typu „Ztráta napájecího napětí“).

Pokud dojde u nějakého zařízení k závadě (neplnění povelu), může to být způsobeno i ztrátou napájecího napětí konkrétního prvku. Pro upřesnění příčiny poruchy by bylo možné ke každému prvku nalézt poruchový signál typu „Ztráta napětí“ v příslušném rozváděči a při poruše prvku kontrolovat i tento signál. To znamená vytvořit jedinečnou síť pravidel pro každou zkoumanou tunelovou stavbu. Alter-



Obr. 1 Typické schéma napájecí soustavy silničního tunelu
Fig. 1 Typical diagram of a motorway tunnel power supply system

the tunnel system with fault frequency reporting. The resolution of the alarm severity is reflected in the operational documentation and most of all in the emergency cards, where the model solution of crisis situations is described.

In general, the report is divided into the following categories [5]:

1. A0 – A2 – alarm messages (numerical resolution 0 [least severe] to 2 [most severe]);
2. D0 – D2 – traffic incidents (numerical resolution 0 [least severe] to 2 [most severe]);
3. E – events in energy (in the power supply system of other systems);
4. Sys – system (information from the control system).

Records of service interventions in tunnel technology (maintenance, repairs or revisions) are the second important basis. In the analyzed time periods, it is necessary to compare the results of the analysis with the service records, because they may have been affected by these non-standard states (eg switching off the device, switching to the service mode).

INFLUENCE OF THE POWER SUPPLY SYSTEM

The vast majority of the tunnel's technological equipment is powered by electricity. Possible outages of its supply fundamentally affect the operation of the powered technology and in the analysis it is necessary to determine what the cause of the investigated non-standard condition was. Therefore, in the first step, it is appropriate to check the behavior of the power supply system, which is reflected in other technologies in the form of a fault message of severity A0 to A2. Events in energy E only inform whether the device is disconnected or connected to the power supply.

The solution of the motorway tunnel supply system uses standardized solutions. A typical diagram is shown in Fig. 1. The measuring points, on the state of which the signal “Loss of voltage” is derived, are shown in red.

This scheme is simplified, but it clearly shows the entire power supply route to the individual appliances. The control system checks the presence of the correct supply voltage in each switchboard, the loss of which (switchboard is not supplied) generates the signal “Loss of voltage” (short name of the event type Loss of supply voltage).

If a device fails (does not comply with the command), it can also be caused by a loss of supply voltage of a particular element. In order to specify the cause of the fault, it would be possible to find a fault signal of the “Loss of voltage” type in each relevant switchboard and to check this signal in the event of a fault in the element. This means creating a unique network of rules for each tunnel structure examined. An alternative to this rather laborious procedure is to find out whether and, if so, how often voltage failures occur in the main and the secondary switchboards during operation and whether these failures have a temporal connection.

The devices that generate “Loss of voltage” signals in the supply switchboards are around forty in an average tunnel structure (2 tubes with lengths of approx. 1,500m). This signal is not standard, and therefore, due to its importance, it is definitely in the A2 or A1 category. From the total set of exported data, the variables can be easily filtered into a new table [5, 6]. An example of such a table is Tab. 1, which is abbreviated and only the first and last entries are shown. There are a total of 103 records.

Tab. 1 “Voltage loss” signals in the supply switchboards, sorted by time of occurrence

Occurrence of event	End of event	Alarm message – (device code + text description)
4. 3. 2020 9:33	4. 3. 2020 9:34	OB0-E-RD00100: Voltage loss in switchboard
2. 9. 2020 11:11	2. 9. 2020 11:12	RD02500: Voltage loss in switchboard

nativou k tomuto dosti pracnému postupu je zjistit, zdali a případně jak často dochází při provozu k výpadkům napětí v hlavních i podružných rozváděcích a zdali mají tyto výpadky mezi sebou časovou souvislost.

Zařízení, která generují signály „Ztráta napětí“ v napájecích rozváděcích, je u průměrné tunelové stavby (dva tubusy o délkách cca 1 500 m) kolem čtyřiceti. Tento signál není standardní, a proto se vzhledem ke svému významu určitě nachází v kategorii A2 nebo A1. Z celkové množiny exportovaných dat se dají proměnné snadno vyfiltrovat do nové tabulky [5, 6]. Ukázkou takové tabulky je tab. 1, která je pro názornost zkrácena a je zobrazen pouze první a poslední záznam. Záznamů je celkem 103.

Tab. 1 Signály „Ztráta napětí“ v napájecích rozváděcích seřazené podle času vzniku

Vznik události	Zánik události	Alarmové hlášení – (kód zařízení+ textový popis)
4. 3. 2020 9:33	4. 3. 2020 9:34	OB0-E-RD00100: Ztráta napětí v rozváděči
2. 9. 2020 11:11	2. 9. 2020 11:12	RD02500: Ztráta napětí v rozváděči

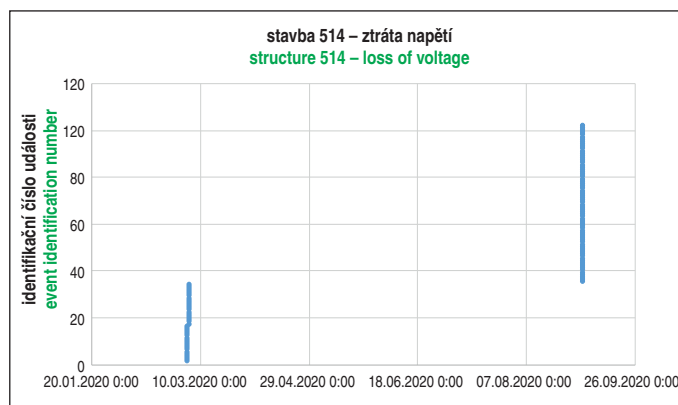
Pokud je tab. 1 zobrazena ve formě grafu na časové ose, lze získat velmi užitečný přehled o časovém rozložení výpadků napětí ve sledovaném období. Proto je nutné provést další jednoduchou úpravu, a to u každé události substituovat textový řetězec názvu proměnné (alarmové hlášení) číslem (například: „OB0-E-RD00100: Ztráta napětí v rozváděči“ = 1; „RD02500: Ztráta napětí v rozváděči“ = 103), kde toto číslo symbolizuje pořadí hlášení. Obr. 2 odpovídá uvedenému postupu příkladu.

Na svislé ose se nacházejí jednotlivé proměnné „Ztráta napětí“ nahrazené číselným označením. Když je potřeba zpětně zjistit, která konkrétní proměnná odpovídá číselnému označení na svislé ose, použije se tabulka přiřazení zpětným způsobem.

Na obr. 2 je zřetelné, že samostatné výskyty signálů „Ztráta napětí“ u jednotlivých napájecích rozváděčů nebyly zaznamenány. Signály vykazují vysokou korelaci a je zřetelné, že se vždy jednalo o výpadky napájení prakticky celé tunelové trouby. Zpětně bylo v provozních záznamech dohledáno, že tyto skupiny signálů ztráty napětí vznikly v časovém intervalu, kdy byl Cholupický tunel uzavřen a probíhaly v něm servisní práce. Detekované skupiny signálů „Ztráta napětí“ jsou s vysokou pravděpodobností průvodním jevem prací na napájecí soustavě tunelu. Pro následnou analýzu dalších událostí je třeba s časy, kdy byla tunelová stavba bez napětí, počítat. V rámci sledovaného období nedocházelo mimo servisní zásahy k výpadkům napájecího napětí a tak příčina mohla být vyloučena pro zjišťování poruch na Lochkovském tunelu. Stejným způsobem byly zpracovány i výpadky napájení na Cholupickém tunelu, ze kterých je zřejmé, že ztráta napětí je zaznamenána i v jiném termínu než v době uzávěr tunelů (tab. 2) a tuto událost bude třeba zpětně dohledat v provozních záznamech tunelové stavby. Aby nebylo nutné porovnávat údaje z různých zdrojů, bylo by vhodné mít všechny informace zaznamenány v jednotné databázi, anebo alespoň zajistit označení stejnými příznaky a názvy pro jednoznačné porovnání [5].

Tab. 2 Souhrn velkých výpadků napájení na tunelových stavbách Cholupice a Lochkov

Cholupický tunel	Lochkovský tunel
4. 3. 2020 10:21 – celková ztráta napájení	4. 3. 2020 9:56 – celková ztráta napájení
14. 5. 2020 13:47 – částečná ztráta napájení	
2. 9. 2020 09:28 – celková ztráta napájení	2. 9. 2020 9:28 – celková ztráta napájení



Obr. 2 Časová závislost výskytů signálu „Ztráta napětí“ na Lochkovském tunelu za rok 2020

Fig. 2 Time dependence of the occurrences of the “Loss of voltage” signal on the Lochkov tunnel in 2020

If the Tab. 1 is displayed in the form of a graph on the timeline, you can get a very useful overview of the time distribution of power outages in the observed period. Therefore, it is necessary to make another simple adjustment, replacing the text string of the variable name (alarm message) with a number for each event (for example: „OB0-E-RD00100: Switchboard voltage loss“ = 1; „RD02500: Switchboard voltage loss“ = 103), where this number symbolizes the order of reporting. Fig. 2 corresponds to the above example procedure.

On the vertical axis there are the individual variables „Voltage loss“ replaced by a number. When it is necessary to find out which particular variable corresponds to the number on the vertical axis, the assignment table is used in the reverse way.

It is clear from Fig. 2 that separate occurrences of the „Voltage loss“ signals at the individual switchboards were not recorded. The signals show a high correlation and it is clear that there have always been power outages of virtually the entire tunnel tube. In retrospect, it was found in the operational records that these groups of voltage loss signals arose in the time interval when the Cholupice tunnel was closed and service work was taking place in it. The detected groups of „Loss of voltage“ signals are with a high probability an accompanying phenomenon of work on the tunnel power supply system. For the subsequent analysis of other events, it is necessary to take into account the times when the tunnel structure was without voltage. During the monitored period, there were no supply voltage outages outside the service interventions, so the cause could be ruled out for the detection of faults in the Lochkov tunnel. Power outages at the Cholupice tunnel were treated in the same way, from which it was clear that the voltage loss was also recorded at a different time than the time of the tunnel closure (Tab. 2), and this event will need to be traced back to the tunnel structure operating records. In order not to have to compare data from different sources, it would be appropriate to have all the information recorded in a single database, or at least to provide the same flags and names for unambiguous comparison [5].

Tab. 2 Summary of large power outages at the Cholupice and Lochkov tunnel structures

Cholupice Tunnel	Lochkov Tunnel
4. 3. 2020 10:21 – total power loss	4. 3. 2020 9:56 – total power loss
14. 5. 2020 13:47 – partial loss of power supply	
2. 9. 2020 09:28 – total power loss	2. 9. 2020 9:28 – total power loss

NALEZENÍ MAXIMA VÝSKYTŮ ALARMŮ

Při prvotní analýze stavu technologického vybavení je v prvním kroku vhodné zjistit zařízení s nejvyšším počtem generovaných hlášení. Výsledkem pak může být následující příklad v tab. 3, jež může mít více než 2000 řádků.

Tab. 3 Zařízení s absolutně nejvyšším počtem zaznamenaných poruchových hlášení na Lochkovském tunelu

Název proměnné	Počet výskytů
Rychlost proudění v tunelu – I07-F-BF07501-MCU.04: Výstraha	33490
IP5-D-S8abdx55089: vadné LED v neaktivním symbolu	24184

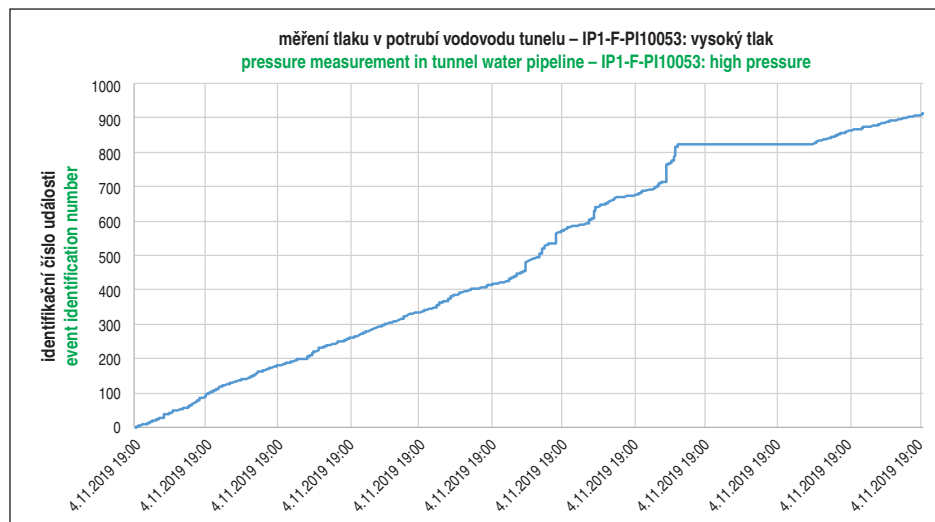
Již tato jednoduchá tabulka udává směr, kam zaměřit pozornost servisních složek pro získání podrobnější analýzy nestandardních jevů. U první položky je možné z expertní zkušenosti a současně z filtrace dat a dalších dodatečných prověřených informací o stavu napájení, teplotě apod. určit, že se s největší pravděpodobností v zařízení I07-F-BF07501-MCU.04 jedná o vadný senzor, nestabilitu nastavení či závadu připojení (nedokonalý kontakt), tedy poměrně přesně definovaný typ závady. Základní charakteristikou pro tuto poruchu je abnormální četnost výskytu.

Filtrací tab. 3 lze počet výskytů zúžit na konkrétní provozní soubory. Tento typ filtrace je praktický pro situace, kdy servis daného provozního souboru zajišťuje jeden subjekt. Prvním příkladem je provozní soubor „Měření fyzikálních veličin“ (tab. 4).

Tab. 4 Lochkovský tunel, provozní soubor „Měření fyzikálních veličin“, zařízení s nejvyšším výskytem poruchových hlášení

Poruchové hlášení souboru Měření fyzikálních veličin	Počet výskytů
Měření tlaku v potrubí vodovodu tunelu – IP1-F-PI10053: Vysoký tlak	952
Měření NO ₂ – IL2-F-QN20003: Žádost o servis	804
Měření NO – IL2-F-QN20003: Žádost o servis	804

Pozornost zasluhuje upozornění na vysoký tlak v požárním potrubí (tab. 4 v prvním řádku, je zde 952 výskytů za rok), protože při překročení tlaku hrozí poškození vodovodního potrubí. Je vhodné udělat následnou analýzu výskytů tohoto signálu v čase (obr. 3). Další dvě položky v tab. 4 upozorňují na potřebu lokálního servisu technologie měření (vyčištění senzorů, kalibrace či podobný servisní úkon).



Obr. 3 Časové rozložení výskytu poruchového hlášení na Lochkovském tunelu

Fig. 3 Time distribution of the occurrences of fault messages in the Lochkov tunnel

FINDING THE MAXIMUM OF ALARM OCCURRENCES

In the initial analysis of the state of technological equipment, it is appropriate in the first step to identify the device with the highest number of generated messages. The result can be the following example in Tab. 3, which can have more than 2000 lines.

Tab. 3 Devices with the absolute highest number of recorded fault messages in the Lochkov tunnel

Variable name	Number of occurrences
Tunnel flow velocity – I07-F-BF07501-MCU.04: Warning	33490
IP5-D-S8abdx55089: defective LED in inactive symbol	24184

This simple table already indicates the direction in which to focus the attention of service departments to obtain a more detailed analysis of non-standard phenomena. For the first item, it is possible from expert experience, and at the same time from data filtering and other additional verified information about power status, temperature, etc. to determine that it is most likely in the device I07-F-BF07501-MCU.04 there is a defective sensor, instability settings or connection fault (imperfect contact), ie a relatively precisely defined type of fault. The basic characteristic for this fault is an abnormal frequency of occurrence.

Filtering Tab. 3, the number of occurrences can be narrowed down to specific technological objects. This type of filtering is practical for situations where the service of a given technological object is provided by one entity. The first example is the technological object Measurement of physical quantities (Tab. 4).

Tab. 4 Lochkov Tunnel, technological object “Measurement of physical quantities”, equipment with the highest incidence of fault messages

Fault message of object Measurement of physical quantities	Number of occurrences
Tunnel water line pressure measurement – IP1-F-PI10053: Vy High pressure	952
NO ₂ measurement – IL2-F-QN20003: Service request	804
NO measurement – IL2-F-QN20003: Service request	804

It is worth noting the high pressure in the fire pipeline (Tab. 4 in the first line, there are 952 occurrences per year), because if the pressure is exceeded, there is a risk of damage to the water pipeline. It is appropriate to make a subsequent analysis of the occurrence of

this signal over time (Fig. 3). The other two items in Tab 4. draw attention to the need for local service of measurement technology (cleaning of sensors, calibration or similar service operation).

It is clear from the graph in Fig. 3 that the events took place, except for the period 07–09, throughout the year. The cumulative fault occurrences are plotted on the „y“ axis. In the next step of the analysis, specific values of pressures in the fire water supply system are added and it is possible to start discussing this situation with the water supply company in order to find the causes of the increase in pressure or failures in the system. This can be important not only for administrators, but also for IRS units (Integrated Rescue System).

Z grafu na obr. 3 je zřetelné, že k událostem docházelo, až na období 07–09, během celého roku. Kumulativní četnosti poruch jsou vyneseny na ose „y“. V dalším kroku analýzy jsou pak doplněny konkrétní hodnoty tlaků v požárním vodovodu a je možné zahájit projednání tohoto stavu s vodárenskou společností, aby byly nalezeny příčiny navýšování tlaku nebo poruch v soustavě. To může být důležité nejen pro správce, ale i pro složky IZS.

KORELACE DAT MEZI PROVOZNÍMI SOUBORY TUNELOVÉ STAVBY

Pokud časová analýza zkoumané události ukáže na ojedinělé výskyty či výskytů shluků, je vhodné zkusit nalézt důvod tohoto chování metodou korelace s dalšími zaznamenanými veličinami. Většina technologického vybavení tunelové stavby je napájena elektrickou energií, a proto je nejčastěji prováděna korelace analyzované události se signály přítomnosti či ztráty napájecího napětí. V následujícím příkladu jsou porovnány časové výskytů signálů „Ventilátor TP – O01-V-VE10001: Porucha zařízení“ se signály „Ztráta napětí“ (tab. 2).

Tab. 5 Lochkovský tunel, zaznamenané poruchy ventilátoru TP – O01-V-VE10001 za sledované období

Vznik poruchy	Událost
2. 9. 2020 11:12	Ventilátor TP – O01-V-VE10001: Porucha zařízení
2. 9. 2020 11:12	Ventilátor TP – O01-V-VE10001: Porucha zařízení
2. 9. 2020 10:55	Ventilátor TP – O01-V-VE10001: Porucha zařízení
2. 9. 2020 10:55	Ventilátor TP – O01-V-VE10001: Porucha zařízení
5. 3. 2020 8:54	Ventilátor TP – O01-V-VE10001: Porucha zařízení
5. 3. 2020 8:23	Ventilátor TP – O01-V-VE10001: Porucha zařízení

Dne 2. 9. 2020 se v případě ventilátoru TP – O01-V-VE10001 nejedná o poruchu zařízení, ale signály „Ventilátor TP – O01-V-VE10001: Porucha zařízení“ byly způsobeny vypnutím napájecího napětí (tab. 2). Pro další analýzu poruch tohoto ventilátoru zůstává stav ze dne 5. 3. 2020. Výsledky ukazují na požadavek doplnění informací o servisním zásahu do alarm managementu ŘS pro přesnější hledání potenciálních poruch.

ANALÝZA PODLE DOBY TRVÁNÍ PORUCHY

Ne každá porucha probíhá podle scénáře: 1. vznik poruchy, 2. odstranění poruchy a 3. zánik poruchy. Některé poruchy mají i velmi malou dobu trvání a odstraní se bez zásahu servisní složky (tab. 6). Jsou to zejména zařízení komunikující po datové sběrnici, kdy porucha může být způsobena nahodilým rušením nebo zhoršujícím se technickým stavem datové sběrnice. Jako příklad je možné uvést závadu na datové sběrnici SOS hlásky IL2-S-SS20083 Cholupického tunelu (tab. 6 a obr. 4).

Tab. 6 Cholupický tunel, SOS hláška IL2-S-SS20083, poruchy s nenulovou dobou trvání

Vznik poruchy	Doba trvání	Poznámka
6. 11. 2019	1:17	Porucha č. 1 za rok
26. 8. 2020	1:04	Porucha č. 15 za rok

Zaznamenaná délka trvání nejdelší poruchy je 494 sec a po jejím uplynutí i tato porucha, jako všechny další zde uvedené, samočinně zanikla (příklad na obr. 4, doby trvání poruchy jsou vyneseny na svislé ose).

Podobné problémy s výpadkem komunikace byly zaznamenány na všech SOS hláškách tunelové stavby. Příklad alarmové zprávy je uveden v tab. 7.

DATA CORRELATION BETWEEN TUNNEL STRUCTURE TECHNOLOGICAL OBJECTS

If the time analysis of the investigated event points to isolated occurrences or occurrences of clusters, it is appropriate to try to find the reason for this behavior by correlation with other recorded quantities. Most of the technological equipment of the tunnel structure is supplied with electricity, and therefore the correlation of the analyzed event with the signals of the presence or loss of the supply voltage is most often performed. The following example compares the time occurrences of the signals “Fan TP – O01-V-VE10001: Device fault” with the signals “Voltage loss” (Tab. 2).

Tab. 5 Lochkov tunnel, recorded TP fan faults – O01-V-VE10001 for the observed period

Fault occurrence	Event
2. 9. 2020 11:12	Fan TP – O01-V-VE10001: Equipment fault
2. 9. 2020 11:12	Fan TP – O01-V-VE10001: Equipment fault
2. 9. 2020 10:55	Fan TP – O01-V-VE10001: Equipment fault
2. 9. 2020 10:55	Fan TP – O01-V-VE10001: Equipment fault
5. 3. 2020 8:54	Fan TP – O01-V-VE10001: Equipment fault
5. 3. 2020 8:23	Fan TP – O01-V-VE10001: Equipment fault

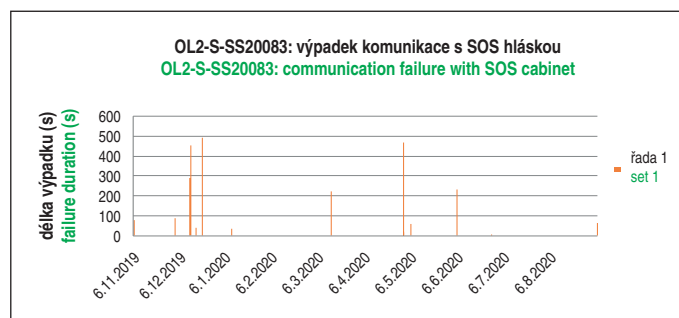
On 2 September 2020, the TP fan – O01-V-VE10001 is not a device fault, but the signals „TP fan – O01-V-VE10001: Device fault“ were caused by switching off the supply voltage (Tab. 2). For further analysis of faults of this fan, the situation remains as of March 5, 2020. The results indicate the requirement to add information on service intervention to the alarm management of the control system for a more accurate search for potential faults.

ANALYSIS WITH RESPECT TO THE DURATION OF THE FAULT

Not every fault occurs according to the scenario: 1. fault occurrence, 2. fault rectification and 3. fault end. Some faults have a very short duration and are rectified without the intervention of the service department (Tab. 6). These are mainly devices communicating via the data bus, where the fault may be caused by accidental interference or deteriorating technical condition of the data bus. An example is the fault on the data bus of the SOS cabinet IL2-S-SS20083 of the Cholupice tunnel (Tab. 6 and Fig. 4).

Tab. 6 Cholupice Tunnel, SOS cabinet IL2-S-SS20083, faults with non-zero duration

Fault occurrence	Duration	Note
6. 11. 2019	1:17	Fault No. 1 per year
26. 8. 2020	1:04	Fault No. 15 per year



Obr. 4 Cholupický tunel, zobrazení doby výpadku komunikace s hláškou SOS IL2-S-SS20083

Fig. 4 Cholupice tunnel, time display of communication loss with SOS cabinet IL2-S-SS20083

Tab. 7 Zkrácené zobrazení žebříčku poruch SOS hlásek Cholupického tunelu

Alarmová zpráva bez duplicit	Počet výskytů
IL2-S-SS20083: Porucha SOS hlásky	21
IL2-S-SS20076: Porucha SOS hlásky	6

Z výše uvedených dat tab. 7, jež má dalších 37 obdobných hlášení, se dá usoudit, že se nejedná o nahodilou poruchu jednoho zařízení, ale pravděpodobnou příčinou budou technické závady ve společném prvku – datové sběrnici. Tato hypotéza se ukázala jako správná [5–7].

SHRNUTÍ

Vlastní postup činnosti je možné vyjádřit pomocí následujícího přístupu formou diagramu (obr. 5). Z celkové množiny signálů tunelového systému je vhodné nejprve rozdělit signály podle typů technologického vybavení (osvětlení, ventilace a další) a samostatně vybrat signály popisující stav napájecí soustavy („Ztráta napájení“). Po provedení korelace mezi signály „Ztráta napájení“ a chybovými hlášeními jednotlivých provozních souborů lze získat první selekci ukazující možné příčiny poruchového hlášení technologie. Následně je možné vytipovat nejčastější poruchy u jednotlivých druhů technologií v tunelovém systému (TS), jenž obsahuje jednotlivá technologická vybavení včetně vlastního propojení a připojení zařízení, a ty porovnat s dalšími možnými vlivy, jako jsou servisní zásahy a naměřené teploty. Na základě rozložení výskytu poruchy v čase je možné expertně stanovit příčinu poruchy a to vše srovnat i s harmonogramem prací (HMG) při servisních odstávkách technologického vybavení tunelu.

Příkladem první selekce na základě pravděpodobnosti vzniku

The recorded duration of the longest fault is 494 sec, and after its expiration, this fault, like all the others listed here, has automatically disappeared (example in Fig. 4, the fault durations are plotted on the vertical axis).

Similar problems with communication failure were recorded on all SOS cabinets of the tunnel structure 513. An example of an alarm message is given in tab 7.

Tab. 7 Abbreviated display of the SOS voices of the Cholupice tunnel fault list

Alarm message without duplicates	Number of occurrences
IL2-S-SS20083: SOS cabinet fault	21
IL2-S-SS20076: SOS cabinet fault	6

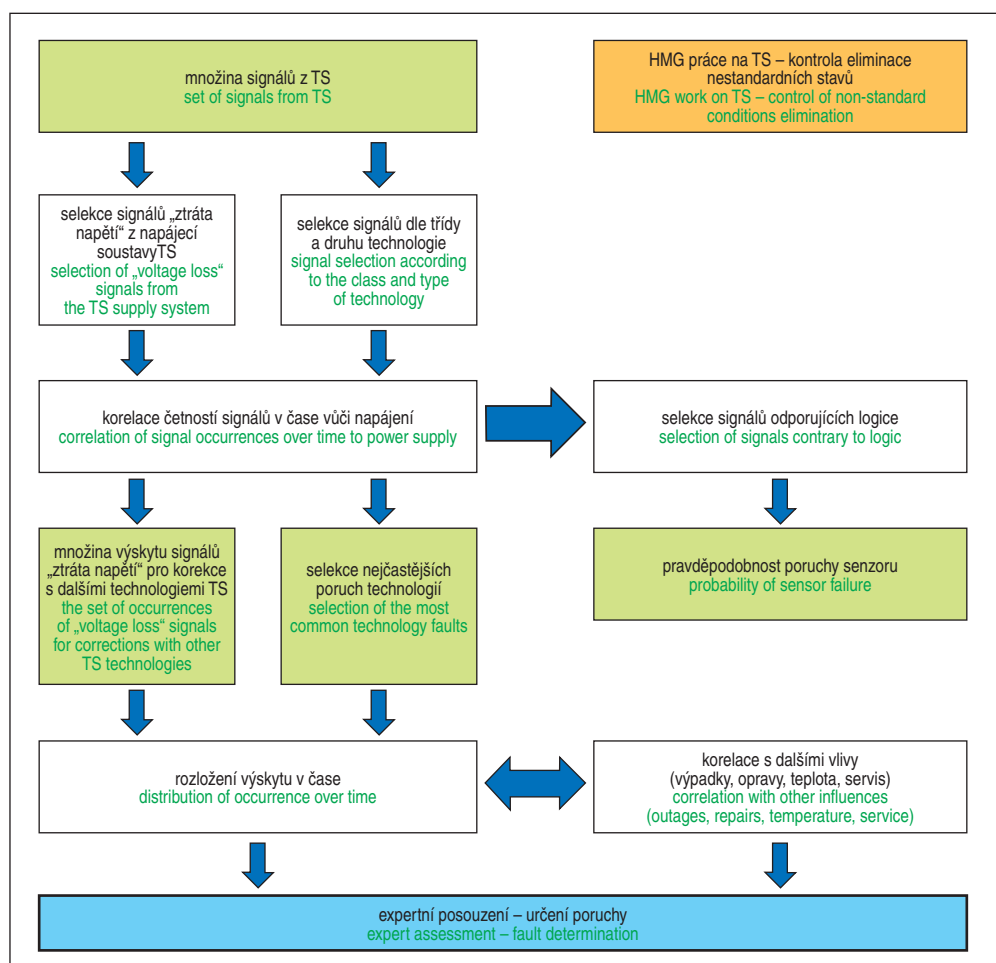
From the above data Tab. 7, which has another 37 similar messages, it can be concluded that this is not an accidental failure of one device, but the probable cause will be technical faults in a common element – the data bus. This hypothesis proved to be correct [5–7].

SUMMARY

The actual procedure can be expressed using the following approach in the form of a diagram (Fig. 5). From the total set of signals of the tunnel system, it is appropriate to first divide the signals according to the types of technological equipment (lighting, ventilation, etc.) and separately select the signals describing the state of the power supply system (“Power loss”). After correlating between the “Power loss” signals and the fault messages of the individual technological objects, a first selection can be obtained

showing the possible causes of the technology fault message. Subsequently, it is possible to identify the most common faults in individual types of technologies in the tunnel system (TS), which contains individual technological equipment, including its own interconnection and connection of equipment, and compare them with other possible influences, such as service interventions and measured temperatures. Based on the distribution of the occurrence of the failure over time, it is possible to expertly determine the cause of the failure and compare it with the work schedule (HMG) during service outages of technological equipment of the tunnel.

An example of the first selection based on the probability of a fault is the recognition of whether a signal belongs to the category “Signals contradicting to logic”. This requires a general knowledge of the technological equipment of the tunnel structure. If, for example, the “Loss of voltage” signal occurs 1000 times in the monitored period, it is very likely to be a measurement fault – if this were the case, supply voltage failures would result in a



Obr. 5 Grafické vyjádření algoritmů vyhodnocování formou diagramu

Fig. 5 Graphical representation of evaluation algorithms in the form of a diagram

poruchy je rozeznání, zdali signál patří do kategorie „Signálů odporujících logice“. K tomu je nutná celková znalost technologického vybavení tunelové stavby. Vyskytne-li se ve sledovaném období např. 1 000 x signál „Ztráta napětí“, jedná se velmi pravděpodobně o poruchu měření – pokud by to byla skutečnost, projevíly by se výpadky napájecího napětí náhlým a značným výskytem poruch na dalších provozních souborech ve stejném čase [8, 9].

ZÁVĚR

Tento článek není komplexním shrnutím diagnostiky technologického vybavení tunelové stavby. Na příkladech z reálné silniční tunelové stavby ukazuje možnosti pro další hlubší analýzu stavu vybavení tunelové stavby. Takto prováděné analýzy a postupy mohou být užitečným nástrojem pro pracovníky, kteří provádějí hlavní prohlídky tunelových staveb a potřebují získat celkový obraz o tunelových technologiích za hodnocené období provozu. Hodnocení prováděné pouze na základě místního šetření a s využitím revizních zpráv poskytuje poněkud omezený pohled na provoz většiny technologického vybavení silniční tunelové stavby za posuzované období [9].

Velkou výhodou výše popsaných analýz a postupů je značná nezávislost na odlišnostech provedení různých ŘS tunelových staveb. Současně je možné analýzy využít i pro správce technologie tunelového systému jako validní vstup pro diagnostiku a predikci poruchovosti technologie tunelu. Použití těchto analýz předpokládá kvalifikovaného pracovníka se znalostí technologie dané stavby. Ten s jejich použitím může získat celkový přehled o funkci technologického vybavení silniční tunelové stavby a vodítka pro zaměření dalšího postupu detailní diagnostiky [9].

PODĚKOVÁNÍ

Výzkum byl podpořen Technologickou agenturou České republiky v rámci programu Epsilon pod č. TH04010481 a názvem „Spolehlivostní diagnostika technologických zařízení“. Cílem projektu bylo vytvoření softwarového nástroje pro analýzu poruch, podporu údržby a prediktivní diagnostiku technologických systémů a zařízení založeného na reálných datech poskytovaných řídicím systémem s vazbou na vstupy z provedených servisních úkonů technologických zařízení [6, 9].

Ing. JIŘÍ ŠTEFAN, stefanj@eltodo.cz, ELTODO, a.s.
doc. Ing. TOMÁŠ TICHÝ, Ph.D., MBA, tichyto1@fd.cvut.cz,
Ing. JIŘÍ BROŽ, MSc., Jiri.Broz@cvut.cz, FD ČVUT v Praze

Recenzoval Reviewed: Ing. Libor Mařík

sudden and significant occurrence of faults in other technological objects at the same time [8, 9].

CONCLUSION

This article is not a comprehensive summary of diagnostics of technological equipment of tunnel structure. Using examples from a real motorway tunnel structure, it shows possibilities for further in-depth analysis of the state of the tunnel structure equipment. The analyses and procedures performed in this way can be a useful tool for workers who carry out major inspections of tunnel structures and need to get an overall picture of tunnel technologies during the evaluated period of operation. The assessment, carried out solely on the basis of a local survey and using audit reports, provides a somewhat limited view of the operation of most of the technological equipment of the motorway tunnel structure during the period considered [9].

The great advantage of the analyses and procedures described above is the considerable independence from the differences of various control systems of tunnel structures. At the same time, the analyses can also be used by tunnel system technology administrators as a valid input for diagnostics and prediction of tunnel technology failures. The use of these analyses presupposes a qualified worker with knowledge of technology of the given structure. Using them, he can get a general overview of the function of the technological equipment of the motorway tunnel structure and guidelines for focusing on the next detailed diagnostics procedure [9].

ACKNOWLEDGEMENTS

The research was supported by the Technology Agency of the Czech Republic within the Epsilon program kept under No. TH04010481 and entitled “Reliability diagnostics of technological equipment”. The aim of the project was to create a software tool for fault analysis, maintenance support and predictive diagnostics of technological systems and equipment based on real data provided by the control system with a link to inputs from service operations of technological equipment [6, 9].

Ing. JIŘÍ ŠTEFAN, stefanj@eltodo.cz, ELTODO, a.s.
doc. Ing. TOMÁŠ TICHÝ, Ph.D., MBA, tichyto1@fd.cvut.cz,
Ing. JIŘÍ BROŽ, MSc., Jiri.Broz@cvut.cz, CTU FD

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Tunelová norma ČSN 73 7507 *Projektování tunelů pozemních komunikací*.
- [2] Technický předpis TP 98 *Technologické vybavení tunelů pozemních komunikací*. Ministerstvo dopravy České republiky: Praha, 2004.
- [3] Technický předpis TP 154 *Provoz, správa a údržba tunelů pozemních komunikací*. 2. vyd. Ministerstvo dopravy České republiky: Praha, 2009.
- [4] Technický předpis TP 229 *Bezpečnost v tunelech pozemních komunikací*. Ministerstvo dopravy České republiky: Praha, 2010.
- [5] TICHÝ, T., BROŽ, J., BĚLINOVÁ, Z., PIRNÍK, R. Analysis of Predictive Maintenance for Tunnel Systems. *Sustainability*, 2021, Volume 13, Issue 7, 3977. <https://doi.org/10.3390/su13073977>.
- [6] TICHÝ, T., BROŽ, J. *Spolehlivostní diagnostika technologických zařízení*. ČVUT FD, Výzkumná zpráva pro TAČR; Projekt č. TH04010481; Praha 2020.
- [7] TICHÝ, T., ŠTEFAN, J., PIXA, R., MIKLOSIK, I. *System for technology control, diagnostics and simulation in tunnels*. In Proceedings of the 14th International Conference Underground Construction Prague 2019. Prague, Czech Republic, 3–5 June 2019; pp 1–8 ISBN 978-80-906452-3-3.
- [8] KRUPA, M. Technická prognostika v kontextu prediktivní údržby. *Automa*, 2/2012, pp 16–29.
- [9] MAZANEC, M., TICHÝ, T., BROŽ, J., ŠTEFAN, J. *Spolehlivostní diagnostika technologických zařízení*. Závěrečná zpráva o postupu prací a dosažených výsledků v roce 2021 pro TAČR; Projekt č. TH04010481; Praha 2022, pp 1–46.

FOTOREPORTÁŽ ZE SLAVNOSTNÍHO ZAHÁJENÍ STAVBY METRA D, ÚSEK I.D1A PANKRÁČ-OLBRACHTOVA DNE 21. DUBNA 2022

PICTURE REPORT FROM CEREMONIAL COMMENCEMENT OF CONSTRUCTION OF METRO D, I.D1A PANKRÁČ-OLBRACHTOVA SECTION ON 21 APRIL 2022

FOTO SUBTERRA A.S. PHOTO SUBTERRA A.S.



Obr. 1 Slavnostní poklepání kamene za přítomnosti primátora HMP
Fig. 1 Ceremonial tapping the stone in presence of Prague Mayor



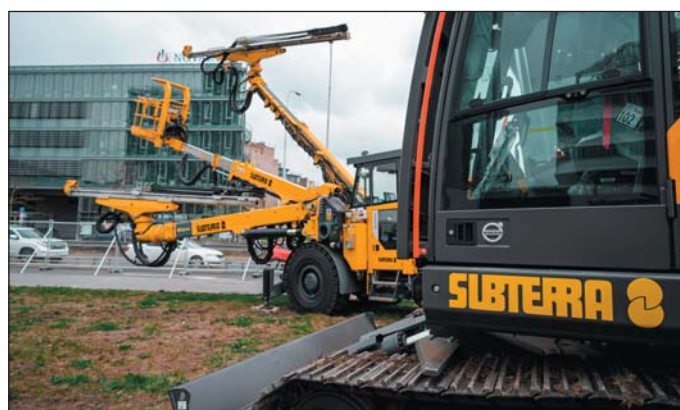
Obr. 2 Proslov GŘ Subterra a.s.
Fig. 2 Speech by General Director of Subterra a.s.



Obr. 3 Jednání sdružení dodavatelů
Fig. 3 Discussion among contractors – consortium members



Obr. 4 Zástupci tisku a televizí
Fig. 4 Press and TV representatives



Obr. 5 Stroje připravené k nasazení
Fig. 5 Machines prepared for deployment

FOTOREPORTÁŽ Z POSLEDNÍ PRORÁŽKY NA TUNELU KRAMER, NĚMECKO

PICTURE REPORT FROM THE LAST BREAKTHROUGH ON KRAMER TUNNEL, GERMANY

FOTO ARGE KRAMERTUNNEL (BEMO TUNNELING GMBH – SUBTERRA A.S.)
PHOTO ARGE KRAMERTUNNEL (BEMO TUNNELING GMBH – SUBTERRA A.S.)



Obr. 1 Bohoslužba v tunelu
Fig. 1 Religious service in the tunnel



Obr. 2 Bohoslužba v tunelu
Fig. 2 Religious service in the tunnel



Obr. 3 Svaté požehnání pro zúčastněné
Fig. 3 Holy blessing to the participants



Obr. 4 Symbolické poklepání na čelbu patronkou tunelu
Fig. 4 The patron of the tunnel symbolically taps on its face



Obr. 5 Proražení tunelu tunelovací frézou pod dohledem patronky tunelu
Fig. 5 Tunnel breaking through using a cutter boom under the supervision by the patron saint of the tunnel



Obr. 6 Ovace pro razičské osádky se soškou Sv. Barborky
Fig. 6 Ovation for tunnelling crews with a statuette of St. Barbara

Příjem abstraktů
zahájen
1. června 2022
Abstract
Submission Form
is open from
June 1, 2022



UNDERGROUND
CONSTRUCTION

MAY 29-31, 2023

PRAGUE

PODZEMNÍ STAVBY
UNDERGROUND CONSTRUCTION

15. MEZINÁRODNÍ KONFERENCE
15TH INTERNATIONAL CONFERENCE

PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2023 UNDERGROUND CONSTRUCTION PRAGUE 2023

29.–31. KVĚTNA 2023 / MAY 29–31, 2023
CLARION CONGRESS HOTEL PRAGUE

www.pspraha.cz | ps2023@guarant.cz



ASSOCIATION
INTERNATIONALE DES TUNNELS
ET DE L'ESPACE SOUTERRAIN

AITES

ITA

INTERNATIONAL TUNNELLING
AND UNDERGROUND SPACE
ASSOCIATION

ČESKÁ TUNELÁŘSKÁ
ASOCIACE
ITA-AITES

CZECH TUNNELLING
ASSOCIATION
ITA-AITES



Katedra geotechniky a podzemního
stavitelství VŠB-TU Ostrava
a firma Minova Bohemia a.s.

vás srdečně zvou na

18. ročník mezinárodní konference
GEOTECHNIKA 2022

konanou pod záštitou
České tunelářské asociace



Termín konání: **15. - 16.9.2022**

Místo konání: **Horský hotel Soláň, Karolinka, Beskydy**

Detailnější informace o příspěvcích a účasti: <https://www.fast.vsb.cz/geotechnika-2022>

Sekretariát konference: hana.sedlarova@vsb.cz



FAKULTA
STAVEBNÍ

KATEDRA GEOTECHNIKY
A PODZEMNÍHO STAVITELSTVÍ



71st Geomechanics Colloquium 2022
October 13th - 15th, 2022
Salzburg, Austria



Registration
opens soon!

www.geomechanics-congress.com



www.isrm2023.info

See you in Salzburg!
15TH ISRM CONGRESS
SALZBURG, 09TH TO 14TH OF OCTOBER 2023

Abstract submission is now open!
Deadline: May 31st, 2022



SALZBURG, 09TH TO 14TH OF OCTOBER 2023
15TH ISRM CONGRESS

- # Přes 50 let historie firmy
- # Široké spektrum technologií speciálního zakládání
- # Zakládání stěžejních staveb v ČR
- # Silné technologické a strojní zázemí
- # Působení v regionu celé střední Evropy
- # Pružnost a variabilita při optimalizaci technických řešení

**ZAKLÁDÁNÍ[®]
STAVEB**



Zakládání staveb, a. s.
K Jezu 1, P. S. 21
143 00 Praha 4 - Modřany
zakladani.cz

PARTNEŘI KONFERENCE
ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR
NÁRODNÁ DIÁLNIČNÁ SPOLOČNOST SR VE SPOLUPRÁCI

S ORGANIZÁTOREM KONFERENCE: K.B.K. fire, s.r.o.



VÁS SPOLEČNĚ ZVOU NA JUBILEJNÍ X. ROČNÍK MEZINÁRODNÍ KONFERENCE „POŽÁRNÍ BEZPEČNOST TUNELŮ“

KONANOU 21. – 22. 09. 2022
PROSPER GOLF RESORT ČELADNÁ



ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB THE WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

PROBLÉMY S TUNELOVÝM PŘEVEDENÍM SILNICE A303 OBLASTÍ SVĚTOVÉHO KULTURNÍHO DĚDICTVÍ STONEHENGE

PROBLEMS WITH TUNNEL DIVERSION OF ROAD A303 ACROSS STONEHENGE WORLD CULTURAL HERITAGE AREA

Information on the preparation of the tunnel on the important road A303 in The Stonehenge area, which was published in the section The World of Underground Construction, TUNEL No. 3/2021, has an "expected" continuation. The construction of the 3.3km long tunnel, which would significantly improve the traffic conditions on the A303 road and ease traffic flow in the UNESCO cultural heritage area, did not start by the end of 2021. The company of Highways England, collaborating with legal and technical consultants, assumed the completion of the selection of the tunnel construction contractor in 2021 and the start of the construction in the same year. In January 2021, however, the project was stopped due to a legal dispute. As a result of the review, the building permit for the £ 1.7 billion tunnel project was revoked by the Supreme Court in the second half of 2021. The similarity with our last time mentioned problems is more than obvious. The current example is a situation where the particular interests of activists have complicated and delayed obtaining a building permit for the construction of a new line D of the Prague metro, which is undoubtedly a construction of public interest.

Informace o přípravě tunelu na významné silnici A303 v oblasti Stonehenge, která byla publikována v rubrice Ze světa podzemních staveb Tunelu č. 3/2021, má „očekávané“ pokračování. Tunel délky 3,3 km, který by výrazně zlepšil dopravní podmínky na silnici A303 a zklidnil prostor kulturního dědictví UNESCO, se v plánovaném termínu do konce roku 2021 stavět nezačal.

Společnost Highways England, spolupracující s právními a technickými poradci, předpokládala ukončení výběru dodavatele výstavby tunelu v roce 2021, a v témže roce zahájení výstavby. V lednu 2021 se však projekt zastavil kvůli právnímu sporu, neboť aktivisté ze skupin Save Stonehenge World Heritage Site, Campaign to Protect Rural England a British Archaeological Trust požádali o soudní přezkum stavebního povolení na celou navrhovanou modernizaci dálnice A303, včetně tunelu v oblasti komplexu Stonehenge. Aktivisté ke svému podání vycházeli ze zprávy vypracované pěti odbornými inspektory, kteří dospěli k závěru, že



Obr. 1 Stonehenge
Fig. 1 Stonehenge

projekt „podstatně a trvale poškodí integritu památky“ a že „újma nebude kompenzována přínosy“ navrhovaného projektu.

Výsledkem přezkumu je, že stavební povolení pro projekt tunelu v hodnotě 1,7 miliardy liber bylo v druhé polovině roku 2021 Nejvyšším soudem zrušeno. Soud rozhodl, že ministr dopravy nedostatečně zvažil možnosti alternativních řešení a neprokázal, že se důsledně zabýval případnými dopady na světové kulturní dědictví. Ministerstvo dopravy se obsahem projektu musí znovu zabývat, získání stavebního povolení je v nedohlednu.

Již minule zmíněná podobnost s našimi problémy je více než zřejmá. Současným příkladem je stav, kdy partikulární zájmy aktivistů komplikovaly a zdržovaly získání stavebního povolení na realizaci nové linky D pražského metra, která je nepochybně stavbou veřejného zájmu.

*prof. Ing. JIŘÍ BARTÁK, DrSc.
Podklad: New Civil Engineering*

MOZAIKA ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB

■ Mezinárodní soutěž na využití rubaniny z ražby tunelů

Výzkumné zařízení EU pro výzkum mikročastic hmoty (CERN) provozuje nyní podzemní urychlovač částic, který je instalován v kruhovém tunelu délky 27 km. Ten se nachází poblíž západního konce Ženevského jezera na území Švýcarska a Francie.

V budoucnosti CERN zamýšlí vybudovat výkonnější kruhový urychlovač, který by byl umístěn v kruhovém tunelu délky 100 km. Ten by ležel opět na území výše zmíněných zemí a podcházel by západní konec Ženevského jezera. Jeho ražba by probíhala především v molasových horninách, které jsou tvořeny mocnými sedimentárními komplexy hlavně pískovců a hrubozrnných slepenců, jež vznikly erozí Alp po jejich vyvráždění. Při ražbě tunelu jich bude vytěženo 9 milionů m³.

A toto enormní množství vyvolává známou otázku: kam s ním,

tedy jak s vyrubanou horninou naložit, když doposud není známý žádný způsob jejího využití. Proto CERN ve spolupráci s EU vypisuje mezinárodní soutěž na využití těchto hornin, přičemž jeho hlavním partnerem je Montanuniversität Leoben. Do této chvíle bylo provedeno velké množství geotechnických, mineralogických a geochemických laboratorních testů, na kterých se podílely univerzity v Leobenu, Ženevě a Curychu.

Zájemci o účast v mezinárodní soutěži se měli přihlásit do 31. října 2021 a současně předložit své návrhy na využití hornin. Ty pak vyhodnotí mezinárodní porota a organizace, které předložily nejlepší návrhy, vyzve k zpracování dalších detailů a jejich předložení do července 2022. Porota pak vybere vítěze, jejichž řešení budou prezentována na zvláštním semináři konaném v centru Am Berg.

■ Progres prací na první šachtě druhé vysokorychlostní trati v UK

Práce na druhé vysokorychlostní trati v UK probíhají na 16 km dlouhém dvoutrubním tunelu, který je ražen pod chilternskými vrchy. Hlubí se zde první z pěti šachet, které budou sloužit jako ventilační a současně budou zajišťovat bezpečnostní přístup. Šachta bude 67 m hluboká a její horní část je zajištěna podzemní stěnou tvořenou šestnácti železobetonovými lamelami. Vytěžené křídové horniny budou použity na terénní úpravy s následným ozeleněním.

V projektu se dbá na to, aby se nenarušil současný charakter území, a proto nadzemní část šachty bude tvořit objekt vzhledem odpovídajícím zemědělským objektům v okolí.

■ Dokončení druhé trouby Lötschbergského bázevého tunelu

Lötschbergský bázevý tunel je 34,6 km dlouhý a jeho východní trouba je v provozu od roku 2007 včetně na severu navazujícího 2,6 km dlouhého tunelu Engstlige. Ze západní tunelové trouby bylo z jižní strany zprovozněno v roce 2007 jen 14 km. Zbytek byl vyražen a zajištěn primárním ostěním mimo asi 6 km trouby, kde je nutné ještě provést ražbu. Nárůst především nákladní dopravy vedl k rozhodnutí, že západní trouba musí být dokončena a zprovozněna v celé délce. S tím související práce byly již zahájeny.

■ Postup přípravy tunelu mezi Argentinou a Chile

Studie proveditelnosti tunelu Las Lenas, který spojí Argentinu a Chile, je před dokončením. Tunel v budoucnosti zajistí intenzivnější obchod a dopravu mezi oběma zeměmi. Tunel Las Lenas bude 13 km dlouhý a podejde hřeben And ve výšce 2050 m n. m. Zajistí tak i zimní provoz, který v současné době silnice překračující Andy v podstatně vyšší nadmořské výšce neumožňuje. K budoucímu tunelu bude nutné vybudovat 60 km nové silnice na argentinské a 13 km na chilské straně.

Předpokládá se, že doba výstavby tunelu bude 10 let. Než k ní ale dojde, bude nutné vykonat mnoho projekčních a přípravných prací.

■ V Rakousku bylo nově otevřeno rozšířené výzkumné Zentrum am Berg

Výzkumné, zkušební a vývojové centrum Zentrum am Berg, vybudované v bývalém železorušném dole ve spolkové zemi Štýrsko, bylo po rozšíření znovu otevřeno 18. října 2021. Pro možnost provádět zde velký rozsah aktivit často v měřítku 1:1 slouží několik kilometrů propojovacích tunelů. Mimořádné využití nabízí také dva rovnoběžné 800 m dlouhé silniční tunely a dvojice 400 m dlouhých železničních tunelů. Silniční tunely mají světlou výšku na vozovku 4,7 m a jsou navrženy pro jednosměrný provoz rychlostí až 100 km/hod.

■ Ražba druhé trouby tunelu Karawanken dostihla hranici mezi Rakouskem a Slovinskem

Skoro před třemi a půl lety byla zahájena stavba druhé trouby tunelu Karawanken, jejíž délka bude 7,9 km. Z rakouské strany po

vyražení 4402 m byla 21. 9. 2021 dosažena hranice mezi Rakouskem a Slovinskem. Práce ovšem nebyly zastaveny, protože souběžně s ražbou probíhaly více než rok práce na sekundárním železobetonovém ostěni, které dále pokračují. Provádějí se zde i další práce – od drenáží, přes propojky až po vozovku.

Avšak celý projekt byl zdržen o více než 1,5 roku kvůli problémům s dodavatelem ražeb na slovinské straně, kterým je turecká firma. Nyní se předpokládá, že prorážka se uskuteční v srpnu roku 2023. Do provozu by měla být druhá trouba uvedena koncem roku 2025. Pak bude provedena rekonstrukce první trouby, která je 34 let stará a modernizaci naléhavě potřebuje. Kompletní dokončení všech prací se předpokládá v roce 2027 a zahájení plného provozu obou trub proběhne na přelomu let 2027 a 2028.

■ Vystrojování 33 km dlouhého koralmského tunelu bylo zahájeno

Koralmský tunel délky 33 km je součástí 130 km dlouhé koralmské železnice. Montáž jeho vybavení pro železniční provoz byla zahájena v září 2021. Jedná se o značný logistický problém, protože v tunelu musí být uloženo 13 tisíc prefabrikátů pevné jízdní dráhy, přičemž každý prefabrikát má rozměry 5,0 x 2,4 m a váží více než 5 tun. Pro jejich dopravu do tunelu jsou k dispozici jen dva přístupy!

Do prefabrikátů budou upínány kolejové sekce délky 120 m.

Pro ověření montážních postupů byl v jedné z budoucích povrchových stanic vybudován zkušební úsek zhruba délky 100 m, na kterém budou po uvedení koralmské dráhy do provozu stát stroje pro údržbu trati v tunelu a záchranný vlak.

■ Archeologický a geotechnický průzkum konce Luzernského jezera

Švýcarské spolkové dráhy se rozhodly nechat zpracovat studii proveditelnosti pro vybudování podzemní průjezdní železniční stanice umístěné pod luzernským hlavním nádražím. Podzemní nádraží by mělo mít čtyři nástupiště a bylo by napojené na dvojkolejné tunely, z nichž ten jižní by v délce 400 m podcházel Luzernské jezero.

Prehistorické období Luzernu je celkem neprobádané. V roce 2020 byly objeveny poprvé na dně jezera zbytky dřevěných pilot, které tvořily základy prehistorických obydlí. Proto kanton Luzern společně se státními železnicemi nechaly provést archeologický a geotechnický průzkum, který proběhl od srpna do listopadu 2021. Pod vedením archeologů z kantonu Luzern pracovali specialisté na podvodní archeologii z Curychu; průzkum dna jezera sonarem a jádrovými vrty prováděli odborníci z kodaňské a bernské univerzity. Jejich úkolem bylo zjistit, zda plánovaná stavba nezničí další prehistorické památky.

Ing. MILOSLAV NOVOTNÝ, mila_novotny@volny.cz

ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCES

TUNELÁŘSKÉ ODPOLEDNE 1/2022 TUNNEL AFTERNOON 1/2022

Cut-and-Cover Tunnels were the theme of the Tunnel Afternoon 1/2022. The first lecturer was Ing. Jiří Šach (Metrostav a.s.), who presented the topic **Construction of cut-and-cover tunnels**

on foreign projects. The information presented was based on experience from the construction projects in Norway, in which the company of Metrostav a.s. participated. The second lecture

was prepared by Ing. David Krása and Ing. Tomáš Urbánek (METROPROJEKT Praha a. s.) on the topic of **Development of technical solution for the Pohůrka tunnel**. It is a 999.5m long cut-and-cover tunnel near České Budějovice. The lecturers described its safety and technical equipment and the design solution, which was changed compared to the original plans. Ing. Michal Uhrin (SUDOP PRAHA a.s.) continued with the topic **The starting stub of a road tunnel in Plzeň**. During the lecture, he outlined the solution for the road tunnel designed at the intersection of the existing České Budějovice – Plzeň main railway station with the future road I/20 in Plzeň, where the investments of the Railway Infrastructure Administration (track reconstruction) and the Directorate of Roads and Motorways (a new road construction) meet. **The design and construction of the Zvěrotice tunnel** was the name of the lecture prepared by Ing. Libor Mařík (SAGASTA s.r.o.). It is a 370m long double-track railway tunnel on the transit corridor IV in the section between Prague and České Budějovice, on the Soběslav – Doubí u Tábora track section between the operated D3 motorway and the town of Soběslav. Ing. Alexandr Butovič, Ph.D (SATRA, spol. s r.o.) presented the topic **Protection of cut-and-cover metro tunnels in Troja**. In the original technical solution according to the final design, the area for the Integrated Rescue System (IRS) units and the entry ramp to the Bubeneč tunnel was designed to be above the cut-and-cover tunnels of the IV.C metro line. During the processing of the final design, the operator defined very strict boundary conditions, consisting mainly in the maximum permitted settlement of the existing structure of 1mm. After verifying the quality of the original diaphragm walls of the construction pit for the metro tunnels, it was decided that the IRS area level was to be lowered to the level of the road in front of the tunnel and a protective reinforced concrete vault (placed on the original diaphragm walls) was to be carried out.

První Tunelářské odpoledne roku 2022 se uskutečnilo ve středu 13. dubna 2022 v Centru vzdělávání Skupiny Metrostav. Tématem byly **Hloubené tunely**. Díky dobré covidové situaci se uskutečnilo prezenčně, ale vzhledem k zájmu posluchačů bylo umožněno sledování i formou on-line pomocí MS Teams.

Prvním přednášejícím byl Ing. Jiří Šach (Metrostav a.s.), který z důvodu pracovních povinností vystoupil on-line s přednáškou na téma **Realizace hloubených tunelů na zahraničních projektech**. Prezentované informace vycházely ze zkušeností z realizace staveb v Norsku, na kterých se podílela společnost Metrostav a.s. Jednalo se o realizaci portálových částí tunelů Joberg, Kongsberg, Åstfjordkryssinga a ekoduktu E39 Lonset-Hjelset. Zajímavou odlišností od ČR byl návrh postupného zužování hloubených tunelů ve směru od portálu (řešeno vložení rovné části proměnlivé šířky ve vrcholu tunelu), hutnění pomocí dynamického účinku padajícího kulového břemena a využití 3D modelu tunelu přímo při realizaci. V závěru Ing. Šach konstatoval, že výstavba těchto částí se technicky příliš neliší od způsobu, kterým jsou portálové úseky budovány v České republice.

Druhou přednášku připravili Ing. David Krása a Ing. Tomáš Urbánek (METROPROJEKT Praha a. s.) na téma **Vývoj technického řešení tunelu Pohůrka**. Jedná se o hloubený tunel délky 999,5 m v blízkosti Českých Budějovic. Přednášející popsali jeho bezpečnostní a technologické vybavení a projektové řešení, které bylo oproti původním plánům změněno (zatěžovací zkouška lamel podzemních stěn ukázala, že jsou pro maximálně přípustné sedání konstrukce nedostatečné a bude muset dojít k jejich prodloužení). Po podrobném technickém prověření byly navrženy celkem čtyři

varianty řešení, ze kterých objednatel vybral variantu tzv. „krabice“, která představuje konstrukci tunelu provedenou do stavební jámy z části zapaženou vodotěsnou pažicí konstrukcí, za kterou bude snižována hladina podzemní vody. Vlastní konstrukce tunelu je navržena jako uzavřený rám s uzavřenou hydroizolací. Závěrečná část přednášky popisovala problematiku požární odolnosti konstrukce. Mimo jiné byly prezentovány výsledky požární zkoušky, na jejímž základě bylo možné kvantifikovat přínos PP vláken na požární odolnost konstrukce.

Po přestávce pokračoval Ing. Michal Uhrin (SUDOP PRAHA a.s.) s tématem **Zárodek silničního tunelu v Plzni**. Během přednášky nastínil řešení zárodku silničního tunelu navrženého v místě křížení stávající železniční trati České Budějovice – Plzeň hl. n. s budoucí silnicí I/20 v Plzni, kde se setkávají investice SŽDC (rekonstrukce trati) a ŘSD (novostavba silnice). Vzhledem k tomu, že stavba silnice bude realizována s delším časovým odstupem, byla navržena rekonstrukce trati společně s realizací zárodku silničního tunelu, aby při pozdější výstavbě již byl zásah do rekonstruované trati co nejmenší (podmínky financování staveb z evropských zdrojů). Ing. Uhrin se ve své přednášce podrobně věnoval výstavbě podzemních stěn, stropní desky a dále tématům spojeným s čerpáním podzemní vody do řeky Úslavy (využití v minulosti zrealizovaného potrubí), řešení problémů se splašky v předmětné oblasti (nepovolené trativody z okolní zástavby), odbourávání hlav podzemních stěn (extrémně kvalitní beton) a zakončení izolace na podzemní stěně (komplikace s nerovným povrchem podzemní stěny).

Projekt a výstavba tunelu Zvěrotice byl název další přednášky, kterou připravil Ing. Libor Mařík (SAGASTA s.r.o.) Jedná se o dvoukolejný železniční tunel délky 370 m na IV. tranzitním koridoru v úseku mezi Prahou a Českými Budějovicemi na traťovém úseku Soběslav – Doubí u Tábora mezi provozovanou dálnicí D3 a městem Soběslav. V rámci přednášky podrobně představil geologické a hydrogeologické podmínky stavby, navržené technické řešení a jeho optimalizaci během realizace.

Jako poslední vystoupil Ing. Alexandr Butovič, Ph.D. (SATRA, spol. s r.o.), přednesl téma **Ochrana hloubených tunelů metra v Troji**. V původním technickém řešení podle DSP byla navržena plocha IZS a vjezdová rampa do Bubenečského tunelu nad hloubenými tunely trasy metra IV.C (takto kladně projednáno). Při zpracování RDS byly ze strany provozovatele definovány velmi přísné okrajové podmínky, spočívající zejména v max. povoleném sedání stávající konstrukce 1 mm. Po ověření kvality původních podzemních stěn stavební jámy tunelů metra bylo rozhodnuto o maximálním snížení plochy IZS na cca úroveň komunikace před tunelem a provedení ochranné železobetonové klenby (uložené na původních podzemních stěnách). Tloušťka klenby šířky 20,17 m se svislými žebry byla navržena 1 m, její realizace vyvolala náklady 44,4 mil. Kč bez DPH. Geotechnický monitoring prokázal funkčnost navržené konstrukce a splnění výše uvedených požadavků provozovatele metra.

Poděkování patří nejen všem přednášejícím, ale i Ing. Alexandru Butovičovi, Ph.D., který přednášky zorganizoval, celé Tunelářské odpoledne moderoval a připravil možnost sledování přednášek pomocí programu MS Teams. Přítomní posluchači také uvítali možnost osobního setkání. Zájem o přednášky byl velký, celkem se zúčastnilo na místě 50 lidí, přes internet se připojilo přes 40 posluchačů. Vybrané prezentace lze nalézt na www.ita-aites.cz.

Ing. MARKÉTA PRUŠKOVÁ, Ph.D.,
CZTA ITA-AITES, z. s.

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

ČESKÁ REPUBLIKA

METRO D – NOVÁ LINKA PRAŽSKÉHO METRA

S velkou radostí můžeme oznámit, že projekt nové linky pražského metra D úspěšně vstoupil do své další velmi důležité realizační fáze. Po splnění všech potřebných povolení a náležitostí byla totiž z úrovně kanceláře primátora hl. m. Prahy dne 21. 4. 2022 slavnostně zahájena stavba úseku Pankrác – Olbrachtova zmiňované linky (obr. 1).

Kompletní vstupní informace, která k dnešnímu datu rámcuje výše uvedený úsek stavby, tedy zní takto:

- Vybraným zhotovitelem stavby je Sdružení Metro I. D se společníky Subterra a.s., HOCHTIEF CZ a.s., Hochtief Infrastructure GmbH, STRABAG a.s. a Ed. Züblin Aktiengesellschaft.
- Komplexní geotechnický monitoring a pasportizaci stavby zajišťuje Sdružení společností s názvem „Krték D monitoring“, kde vedoucím společníkem tohoto sdružení je spol. SG Geotechnika a.s. a dalšími společníky INSET s.r.o., GeoTec-GS a.s. a PUDIS a.s.
- Projektové řešení a autorský dozor má na starost společnost Metroprojekt Praha a. s.
- Technický dozor a koordinaci BOZP provádí spol. Inženýring dopravních staveb a.s.

Doplňující informace hovoří o tom, že během března a dubna nabyla své právní moci všechna potřebná stavební povolení s výjimkou stavebního povolení pro část zařízení staveniště stanice Olbrachtova (OL2), a to s výhledem dodání jeho kladného rozhodnutí během nejbližších dní. V posledních březnových dnech tak mohl

THE CZECH REPUBLIC

METRO D – NEW LINE OF PRAGUE METRO

It is great joy for us to be able to announce that the new Prague Metro Line D project has successfully entered the next very important construction phase. After fulfilling all the necessary permits and requisites, the construction of the Pankrác – Olbrachtova section of the above-mentioned line was ceremoniously started from the level of the Prague City Mayor's office (see Fig. 1) on 21 April 2022.

The complete input information, which to date frames the above-mentioned section of the construction, therefore reads as follows:

- The selected construction contractor is the Metro I. D Consortium with the partners Subterra a.s., HOCHTIEF CZ a.s., Hochtief Infrastructure GmbH, STRABAG a.s. and Ed. Züblin Aktiengesellschaft.
- The comprehensive geotechnical monitoring and condition survey of existing structures is provided by the consortium called "Krték D monitoring" (Mole D monitoring). The leading partner of this consortium is SG Geotechnika a.s. and other partners are INSET s.r.o., GeoTec-GS, a.s. and PUDIS a.s.
- The design solution and author's supervision are in charge of the company of METROPROJEKT Praha a. s.
- Technical supervision and coordination of industrial health protection and accident prevention is performed by the company of Inženýring dopravních staveb a.s.

Additional information indicates that, all necessary building permits came into force during March and April, with the exception of the building permit for part of the Olbrachtova station (OL2) site arrangement, with an outlook for the delivery of the positive decision in the coming days. In the last days of March, the contracting



Obr. 1 Budoucí podoba stanice metra Pankrác
Fig. 1 The future look of the Pankrác metro station

zadavatel stavby Dopravní podnik hl. m. Prahy prostřednictvím svého technického dozoru a v souladu s uzavřenou smlouvou o dílo předat zhotoviteli stavby staveniště. Tím byly naplněny všechny nezbytné podmínky pro spuštění příprav k vlastnímu zahájení ražeb k datu 15. 4. 2022, a to samozřejmě včetně všech dalších stavebních prací v souladu s platným harmonogramem stavby. Lhůta realizace tohoto úseku je stanovena na 7,5 roku a to znamená, že jeho dokončení se očekává v roce 2029.

Kromě již budovaného úseku Pankrác – Olbrachtova dnes již také nic nebrání vypsání soutěže na zhotovitele dalšího úseku Olbrachtova (mimo) – Nové Dvory vč. traťových tunelů z Písnice, kde zadavatel předpokládá zahájení procesu v květnu 2022. Při naplnění tohoto předpokladu by pak již zbývalo pouhé následné dohloubení stanic Libuš a Písnice do již předem vyražených traťových tunelů. Všechny tyto práce by pak měly být dokončeny ve stejném roce jako již budovaný úsek Pankrác – Olbrachtova a tak by mohl být splněn hlavní cíl, a to zprovoznění celé trasy linky metra D v úseku Pankrác – Písnice v roce 2029.

Kromě výše popisovaného a již budovaného jižního směru trasy metra D se nezapomíná ani na směr severní směřující do centra města, kde na pokyn zadavatele je připravována projektová dokumentace pro úsek Pankrác – Náměstí Míru.

Celý soubor zde výše popsanych pozitivních zpráv tedy neznamená nic jiného než to, že v našich příštích aktualitách se zde budeme moci dozvědět, kolik prvních metrů z trasy bylo vyraženo a jak dál celá stavba úspěšně pokračuje. Takže projektu metro D dále držíme palce, zdať bůh!

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

ŽELEZNIČNÍ TUNEL ZVĚROTICE

Dvoukolejný železniční tunel Zvěrotice délky 370 m na traťovém úseku Soběslav – Doubí je součástí IV. železničního koridoru spojujícího po dokončení Prahu s Českými Budějovicemi a dále s rakouským Lincem. Stavba se nachází v těsné blízkosti města Soběslav a trasy dálnice D3.

Příznivé klimatické podmínky umožnily kompletní dokončení záspů a s nimi souvisejících portálových gabionových zdí. Ga-

authority, the Prague Public Transit Company, was able to hand over the construction site to the construction contractor through its Technical Supervision and in accordance with the concluded work contract. This fulfilled all the necessary conditions for the start of preparations for the actual start of excavations on 15 April 2022, including, of course, all other construction work in accordance with the valid construction schedule. The deadline for the construction of this section is set at 7.5 years, which means that its completion is expected in 2029.

Apart from the already under construction Pankrác – Olbrachtova section, nothing prevents today from calling for tenders for the contractor of the next Olbrachtova (with the exception of the station) – Nové Dvory section including running tunnels from Písnice, where the contracting authority expected commencing of the process in May 2022. When this assumption is fulfilled, only the subsequent completion of excavation for the Libuš and Písnice stations on the already excavated running tunnels would remain. All these work activities should then be completed in the same year as the already completed Pankrác – Olbrachtova section, thus the main goal, namely the commissioning of the entire route of the metro line D in the Pankrác – Písnice section in 2029, could be met.

In addition to the above-described and already under construction southern direction of the metro line D, the northern direction leading to the city centre has not been forgotten. The design documents for the Pankrác – Náměstí Míru section is being prepared on the instruction of the contracting authority.

The whole above-described set of positive reports therefore means nothing more than that in our next current news we will be able to find out how many first metres of the route have been excavated and how the whole construction successfully continues. So we keep our fingers crossed for the Metro D project. God bless you!

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

ZVĚROTICE RAILWAY TUNNEL

The 370m long double-track rail tunnel in the Soběslav – Doubí track section is part of Railway Corridor No. 4, which will, after completion, link Prague with České Budějovice and further with Linz, Austria. The construction is located near the town of Soběslav and the D3 motorway route.

Favourable climatic conditions allowed for the full completion of the backfills and related gabion portal walls. The 6m high gabion walls allow for increasing the level of the backfill so that it overlaps the joint between the portal and adjoining concrete casting blocks of the lining and it is possible to cover this joint with a waterproofing membrane. The membrane is then terminated on the portal block in a stainless steel bar, which ensures a tight connection with the tunnel lining. Material excavated from the construction pit and deposited on the right side of the construction pit (viewed in the direction of chainage) was used for backfilling. Not much has left of its original volume of 80,000m³. A gabion wall newly originated at the entrance portal. It stabilises the rock slope at the front end of the mustering area for the integrated rescue system. Together with the portal wall and



*Obr. 2 Gabionové zdi na vjezdovém portále
Fig. 2 Gabion walls at the entrance portal*



Obr. 3 Dokončení zásypů stavební jámy (duben 2022)

Fig. 3 Completion of backfilling the construction pit (April 2022)

bionové zdi výšky 6 m umožňují zvýšit úroveň zásypu tak, aby překrýval spáru mezi portálovými a na ně navazujícími bloky betonáže ostění a bylo možné tuto spáru překrýt hydroizolační fólií. Ta je pak na portálovém bloku ukončena v nerezové liště, která zajišťuje těsný spoj s tunelovým ostěním. Pro zásypy byl použit materiál vytěžený ze stavební jámy a deponovaný po pravé straně stavební jámy ve směru staničení. Z jejího původního objemu 80 000 m³ již mnoho nezbyvá. Nově na vjezdovém portále vznikla gabionová zeď, která stabilizuje skalní svah v čele nástupní plochy složek integrovaného záchranného systému. Společně s portálovou zdí a gabionovou zdí podél této plochy tvoří ucelený systém stabilizace skalního zářezu (obr. 2). Ten měl být původně zajištěn pouze ocelovými sítěmi.

V prostoru deponie, stejně jako prostoru nad stavební jámou, bude rozprostřena ornice a území bude uvedeno do původního stavu. Oba portálové svahy jsou pokryty vrstvou lomového kamene o tloušťce 0,5 m, který prakticky vylučuje zachycení náletového porostu a minimalizuje provozní náklady související s údržbou portálů. Na obou portálech jsou instalovány ocelové zábrany bránící přístupu k trakčnímu vedení. Dokončením gabionových zdí a zásypu tunelu skončily práce na jeho nosných konstrukcích. Stavební činnost se nyní zaměřuje na dokončení vnitřního vybavení tunelu. Jedná se o dokončení poklopů šachet na čištění drenáže, kabelových šachet, madel u služebních chodníků nebo instalaci armatur požárního vodovodu. S tím souvisí i provádění armaturní šachty požárního vodovodu na vjezdovém portále, jejíž vybavení umožní před příjezdem hasičů dálkové napuštění jinak nezavodněného požárního potrubí.

Kromě stavební části finišují i práce na technologickém vybavení tunelu. V kabelovodech jsou zataženy kabely, které tunelem jednak probíhají, a jednak budou zajišťovat napájení osvětlení, kamerového systému na portálech nebo prvků pro sledování ostění tunelu za provozu. Jizva v území se pomalu zaceluje (obr. 3) a vše směřuje

the gabion wall along this area, they form a comprehensive system of stabilisation of the rock cutting (see Fig. 2). Only steel nets were originally designed to stabilise the cutting.

Topsoil will be spread in a stockpile area, as well as in the area above the construction pit, and the area will be restored to its original condition. Both portal slopes are covered with a layer of rubble stone 0.5m thick, which virtually eliminates the capture of naturally spread vegetation and minimises operating costs related to the maintenance of portals. Steel barriers are installed at both portals to prevent access to the catenary system. By completing the gabion walls and the backfill of the tunnel, the work on the tunnel load-bearing structures was completed. Construction work is now focused on completing the inner equipment of the tunnel. It comprises the completion of covers of drainage cleaning manholes, cable manholes, handrails along service walkways or the installation of fittings on the fire water main. This is also related to the construction of the valve shaft of the fire water supply system at the entrance portal, the equipment which will allow for remote filling of the otherwise dry fire pipeline before the arrival of firefighters.

In addition to the civil engineering part, the work on the tunnel equipment is also finishing. Drawing of cables into cable ducts has been finished. The cables both run along the tunnel and will provide power to the tunnel lighting, the camera system at the portals or elements for monitoring the tunnel lining during operation. The scar in the area is slowly healing (see Fig. 3) and everything is heading towards the passage of the first train, which is planned for track no. 1 for the first week in September 2022. From December, operation will be commenced on both tracks.

The 370m long double-track rail tunnel in the Soběslav – Doubravka track section is part of Railway Corridor No. 4, which will, after completion, link Prague with České Budějovice and further with Linz, Austria. The construction is located near the town of Soběslav and the D3 motorway route.

Ing. LIBOR MAŘÍK, SAGASTA s.r.o.

k průjezdu prvního vlaku, který je v koleji č. 2 plánován na první týden v září roku 2022. Od prosince pak bude zaveden dvoukolejný provoz.

Stavbu tunelu provádí subdodávkou firma HOCHTIEF CZ a. s. pro „Sdružení Soběslav – Doubí“ tvořené firmami STRABAG a.s., EUROVIA CS, a.s. a Metrostav a.s. Autorem realizační dokumentace tunelu je firma SAGASTA s.r.o.

Ing. LIBOR MAŘÍK, SAGASTA s.r.o.

SLOVENSKÁ REPUBLIKA

TUNELY NA DIAĽNIČNEJ SIETI

Tunel Bikoš

V jarých mesiacoch roku 2022 napredujú práce na severnom obchvate mesta Prešov tvorenom 4,3 km dlhým úsekom rýchlostnej cesty R4 Prešov, severný obchvat, I. etapa. Súčasťou úseku je aj tunel Bikoš dĺžky 1155 m, dvojrúrový cestný tunel s jednosmernou premávkou.

V polovici apríla boli dokončené práce na sekundárnom ostení v oboch tunelových rúrach vrátane úsekov hĺbených tunelov. Podľa NDS práce napredujú podľa plánu a cestu dokončia v lete 2023. V západnej rúre tunela sa aktuálne realizujú štrbinové žlaby odvodnenia vozovky a pracuje sa aj na položení obrubníkov či realizácii kábelovodov.

Koncom leta roku 2022 by mala začať montáž technologického vybavenia tunela a následne by mala začať realizácia vozovky v tuneli.

Zhotoviteľom stavby je združenie spoločností Váhostav-SK, a.s. a TuCon, a.s. Predpokladané ukončenie rýchlostnej cesty a jej uvedenie do prevádzky sa očakáva v júli 2023.

Tunel Čebrať

Tunel Čebrať s dĺžkou 3,6 km je súčasťou úseku diaľnice D1 Hubová – Ivachnová. Zhotoviteľom stavby je združenie spoločností OHLA ŽS, a.s., a Váhostav-SK, a.s. Stav prác v apríli 2022 je nasledujúci.

V južnej tunelovej rúre je vyrazených 3579 m v kalote, čo znamená, že na prerazenie ostáva 54 m. Stupeň a klenba zaostávajú za kalotou cca 50 m. Razenie od východného portálu bolo dočasne zastavené. V severnej tunelovej rúre je vyrazených 3490 m, ostáva ešte 123 m na prerazenie. V oboch rúrach boli rozšírené profily tunela v núdzovom zálive č. 4. Z posledného priečného prepojenia je vyrazená približne polovica. Na západnom portáli finišujú práce na zaistení portálovej jamy. Obidve čelby sú pripravené na spustenie razenia z tohto portálu.

V južnej tunelovej rúre je vybetónovaných 2660 m základových pásov, resp. spodných klenieb. Od januára prebiehala betonáž horných klenieb sekundárneho ostenia, momentálne je hotových 24 blokov. Druhá zostava pre betonáž v južnej

SLOVAK REPUBLIC

TUNNELS ON MOTORWAY NETWORK

Bikoš tunnel

In the spring of 2022, work on the northern bypass of the town of Prešov, consisting of a 4.3km long section of the R4 fast highway Prešov, northern bypass, stage I, is progressing. The 1155m long Bikoš tunnel, a twin-tube road tunnel with unidirectional traffic in the tubes, is also part of the section.

In mid-April, work on the secondary lining in both tunnel tubes was completed, including sections of the cut-and-cover tunnels. According to the National Highway Company, the work is continuing according to the plan and the road will be completed in the summer of 2023. In the western tunnel tube, slotted drains are currently placed in the roadway and kerbs and cable ducts are also being laid.

At the end of the summer of 2022, the installation of the tunnel equipment should begin, and subsequently the construction of the roadway in the tunnel should start.

The contractor of the construction is a consortium formed by the companies of Váhostav-SK, a.s. and TuCon, a.s. The completion of the fast highway and its commissioning is expected in July 2023.

Čebrať tunnel

The 3.6km long Čebrať tunnel is part of the Hubová – Ivachnová section of the D1 motorway. The construction contractor is a consortium consisting of the companies of OHLA ŽS, a.s., and Váhostav-SK, a.s. The state of work in April 2022 is as follows.

In the southern tunnel tube, 3579m of top heading excavation has been completed, which means that 54 metres remain to be broken through. The bench and the vault are lagging about 50m behind the top heading. The excavation from the eastern portal has been temporarily stopped. Excavation of a 3490m long section has been finished in the northern tunnel tube; there are still 123m left to be broken through. The tunnel profiles in emergency lay-by No. 4 were enlarged in both tubes. About a half of the last cross-passage has been excavated. Work on the stabilisation of the portal pit is finishing



Obr. 4 Priestor západného portálu tunela Višňové

Fig. 4 Area of the western portal of the Višňové tunnel

tunelovej rúry je pripravená pred tunelom na východnom portáli. Prvá zostava pre severnú tunelovú rúru je vťahnutá do tunela, montuje sa druhá.

Práce v tuneli boli začiatkom marca 2022 utlmené z dôvodu nedoriešených zmluvných vzťahov.

Tunel Višňové

Tunel Višňové s celkovou dĺžkou 7450 m a dvomi tunelovými rúrami je budovaný na úseku diaľnice D1 Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala. Súčasťou tunelových objektov je aj odvodňovacia štôľňa, ktorá je umiestnená v osi diaľnice a odvádza horninovú vodu prevažne na východný portál.

Na tuneli Višňové sa dokončuje profilácia posledných blokov primárneho ostenia tunelových rúr. Z horných klenieb zostáva zabetónovať menej než 150 blokov v hlavných tunelových rúrach. Na betonáž sekundárneho ostenia horných klenieb je nasadených spolu päť oceľových pojazdných debniacich vozov, z ktorých dva betónujú úseky tunelových rúr so zväčšeným profilom (pôvodne s medzistropom) a zvyšné tri debnenia sa používajú na betonáž štandardných blokov. Z celkového počtu 20 núdzových zálivov je zabetónovaných spolu 7 a pripravujú sa ďalšie.

V závislosti na potrebe prejazdnosti tunelovými rúrami a logistiky v tuneli sa realizuje aj betonáž horných klenieb priečných tunelových prepojení, kde z celkového počtu 29 prepojení je 12 už zabetónovaných kompletne a ostatné sú v štádiu rozpracovanosti.

Z ďalších dôležitých prác v tuneli je potrebné spomenúť úpravu dna tunela. Podľa zamerania stavu dna tunela je potrebné ešte odťažiť cca 55 000 m³ navoženého materiálu. V mnohých miestach je nutné dorazenie úsekov rastlej horniny na dne, počte tunela.

Z dôvodu zamedzenia prác na konštrukciách vozovky pre chybné zrealizovanú drenáž spoločnosť SKANSKA betónuje zatiaľ pláň vozovky, do polovice apríla 2022 bolo zabetónovaných 2500 metrov v severnej tunelovej rúre. Aktuálne sa otvára pracovisko úpravy dna a následnej betonáže pláne aj v časti južnej tunelovej rúry tak, aby bola zachovaná prejazdnosť v tuneli.

Z nových činností boli začaté práce na dobetonávke ozubu pre

at the western portal. Both excavation faces are ready for starting the excavation from this portal.

In the southern tunnel tube, concreting of 2660m of foundation strips and inverts, respectively, have been finished. The concreting of the upper vaults of the secondary lining has been underway since January; 24 blocks are currently finished. The second set for concreting in the southern tunnel tube is prepared in front of the tunnel at the eastern portal. The first set for concreting the final lining in the northern tunnel tube has been pulled into the tunnel, the second is being assembled.

Check was put on the work in the tunnel at the beginning of March 2022 due to unresolved contractual relationships.

Višňové tunnel

The double-tube Višňové tunnel with the total length of 7450m is being built on the Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala section of the D1 motorway. A drainage gallery, which is located on the longitudinal axis of the motorway and evacuates groundwater mainly to the eastern portal, is also part of the tunnel structures.

The profiling of the last blocks of the primary lining of the tunnel tubes is being completed in the Višňové tunnel. Less than 150 upper vault blocks in the main tunnel tubes remain to be concreted. A total of five travelling steel forms are used for concreting the secondary lining of the upper vaults; two of them are used for concreting the sections of tunnel tubes with an enlarged profile (originally with an intermediate deck) and the remaining three forms are used for concreting standard blocks. Out of the total number of 20 emergency lay-bys, concreting of a total of 7 has been finished and more are being prepared.

Depending on the need for the passage through the tunnel tubes and the logistics in the tunnel, concreting of the upper vaults of the cross passages is also carried out, where out of the total number of 29, concreting of 12 passages has already been completed and the others are under construction.

Other important work in the tunnel includes the treatment of the tunnel bottom. According to the survey of the condition of the tunnel bottom, it is still necessary to remove about 55,000m³ of the brought-in material. In many places it is necessary to complete the excavation of natural ground at the tunnel bottom.

In order to prevent work on the road structures due to incorrectly carried out drainage, the company of SKANSKA is for the time being concreting the road bed; by mid-April 2022, concreting of 2500 metres had been finished in the northern tunnel tube. Currently, the workplace for the treatment of the bottom and subsequent concreting of the road bed is also being opened in a part of the southern tunnel tube so that the passability is maintained in the tunnel.

Among the new activities, work was started on the concreting of the nib supporting the cover plates, the concreting of the sloped concrete on the foundation strips and the preparation of the concreting of the bed under the slotted drains.



Obr. 5 Výstavba kolektoru na východnom portáli tunela Višňové

Fig. 5 Construction of the technical corridor at the eastern portal of the Višňové tunnel

zákrytové desky, betonáž spádového betonu na základových pásoch a přípravu betonáže základu pod štrbinové žlaby.

Rozbehli sa aj práce na portálových častiach tunela. Na západnom portáli sa buduje prevádzkovo-technologický objekt (PTO) a začína sa s prípravou betonáže hornej klenby bloku hĺbeného tunela severnej tunelovej rúry (obr. 4). Na východnom portáli sa realizuje kolektor, PTO, vonkajšia kanalizácia a kolektor pred severnou tunelovou rúrou (obr. 5).

Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ, DOPRAVOPROJEKT, a.s.

Ing. IVAN MICHALE, Váhostav-SK, a.s.

Ing. VLADIMÍR KOTRÍK, Skanska SK a.s.

Work has also got underway on the portal parts of the tunnel. An operational and technical facility is being built at the western portal, and preparations are underway for the concreting of the upper vault of the cut-and-cover tunnel block of the northern tunnel tube (see Fig. 4). The technical corridor, the operational and technical facility, external sewerage and a technical corridor are under construction in front of the northern tunnel tube (see Fig. 5).

Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ, DOPRAVOPROJEKT, a.s.

Ing. IVAN MICHALE, Váhostav-SK, a.s.

Ing. VLADIMÍR KOTRÍK, Skanska SK a.s.

Z HISTORIE PODZEMNÍCH STAVEB FROM THE HISTORY OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

POHLEDNICE S TUNELY ZA VELKOU LOUŽÍ PICTURE POSTCARDS WITH TUNNELS BEYOND THE OCEAN

In this part of the series, the authors return to the Atlantic repeatedly and present other eight postcards with tunnels. As always, the presentation of postcards also includes profile medallions of underground structures which are more or less known and completely unknown in the Czech Republic. From the point of view of their function, there are four vehicular tunnels (the Holland vehicular tunnel in N. Y., the Toothrock tunnel in Oregon, the Blue Mt. and Kittatinny Mt. tunnels in Pennsylvania and the Green River tunnel in Wyoming) and four railway tunnels (the Pena Tunnels under the Hudson River in N. Y., the Moffat Railway Tunnel in Colorado, the Spiral Tunnels in Canada, and the Cacheuta Railway Tunnel in Argentina). Regionally, the USA is dominantly represented, while Canada is represented by one tunnel, as well as the second largest country in South America – Argentina, where this series will visit for the first time.

V tomto dílu seriálu se autoři vracejí již poněkoli káté za Atlantik a představují zde dalších osm pohlednic s tunely. Jako vždy jsou součástí prezentace pohlednic také profilové medailonky těchto, více či méně známých až v ČR zcela neznámých, podzemních staveb. Z pohledu jejich funkce jde shodně o čtyři tunely automobilové a čtyři železniční. Regionálně jsou pak dominantně zastoupené USA, když Kanadu reprezentuje jeden tunel, stejně jako druhou největší zemi Jižní Ameriky – Argentinu, kam zavítá tento seriál vůbec poprvé.

Hollandův automobilový tunel v N. Y.

Dálnice Interstate 78 spojuje ostrov Manhattan v New Yorku s Jersey City v New Jersey, přičemž řeku Hudson překonává Hollandovým tunelem. Ten byl původně známý jako *Hudson River Vehicular Tunnel* či *Canal Street Tunnel* s tím, že pojmenování podle hlavního inženýra projektu C. M. Hollanda (†1924) obdržel až posléze. S Lincolnovým tunelem jde o jediné dva dálniční tunely pod Hudsonem.

Stavba byla zahájena 1920 a ukončena v roce 1927. Tunel sestává z dvojice tubusů, když každý z nich má dva jízdní pruhy o šířce vozovky 6 m a výšce 3,8 m – obr. 1. Severní trouba je dlouhá 2 608 m, jižní 2 551 m, nejnižší bod vozovky se nachází cca 28 m pod hladinou řeky. Jde o vůbec první tunel pro automobily na světě vybavený nuceným větráním. Byl vylámaný ve skalním podloží a během jeho stavby přišlo o život čtrnáct pracovníků.



Obr. 1 Hollandův automobilový tunel, New York City. Kresba. Pub. by Manhattan Post Card Co., New York City. Okolo 1920 [sbírka autorů].

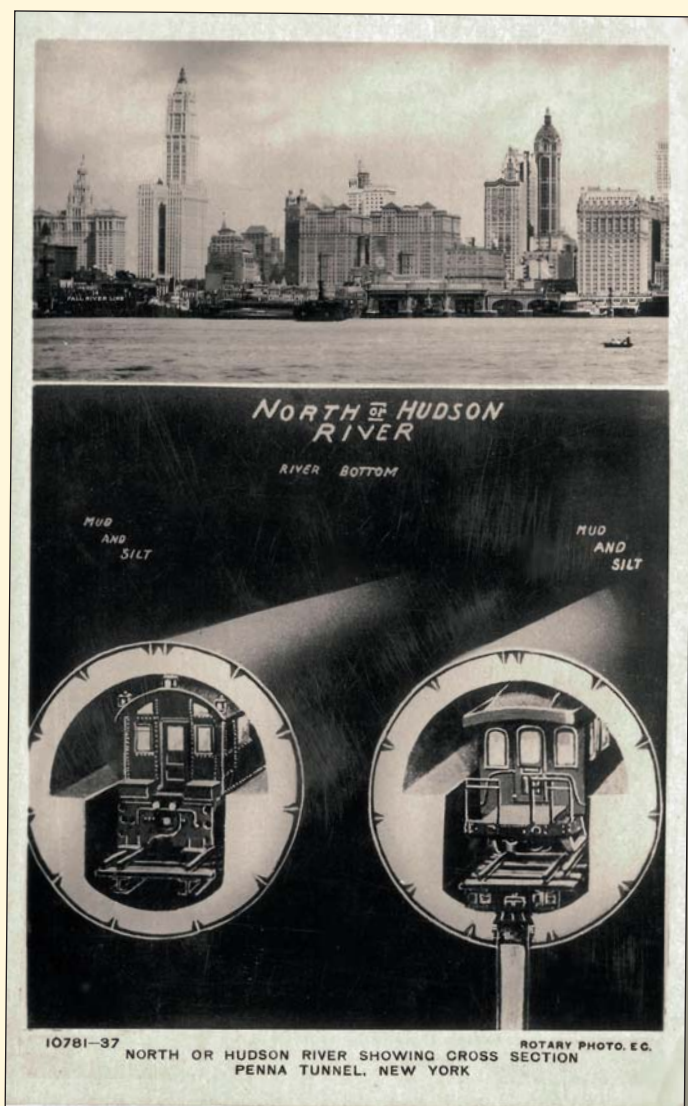
Fig. 1 Holland vehicular tunnel, New York City. Drawing. Pub. by Manhattan Post Card Co., New York City. Around 1920 [authors' collection].

Při mýtném 8 US \$ (mimo špičku 6 \$) dnes za den projede tunelem průměrně 93 300 automobilů. Požár kamionu v roce 1949 v jižním tubusu způsobil zranění 66 lidem a škody na konstrukci za téměř 600 000 \$. V roce 1993 byl tunel zařazený mezi Národní kulturní památky USA.

Pozoruhodnou českou stopou v souvislosti se stavbou je účast firmy RAKO. Ta speciálně pro tuto stavbu dodala 15 000 m² obkladaček zn. Tunelia v barvě převážně bílé, ale také modré a oranžové. Během jejich výroby a přejímky dokonce v továrně působil specialista vyslaný z USA. Nezvyklé dimenze obkladaček (108×108 mm) byly odvozené z imperiálních rozměrů a posléze se staly pro značku Tunelia standardem [1].

Železniční tunely Pena pod řekou Hudson v N. Y.

Řeka Hudson v N. Y. byla dlouho podstatnou překážkou hromadné dopravy osob. Od 70. let 19. stol. se zvažovala výstavba jak mostů, tak i tunelů. Tunel pod řekou pro železnici H&M (*Hudson & Manhattan Railroad*) byl zahájený již roku 1874, ale narazil na vážné technické, finanční a právní překážky. Ražení s přetlakem vzduchu (ale bez štítu) bylo v roce 1880 zastavené po průtrži, která zahubila 20 barabů.



Obr. 2 Severní řeka – Hudson. Dno řeky je tvořené bahnem. Příčný profil s tunelem Penna. New York. 10781-37 Rotary Photo, London, E. C. 1923 [sbírka autorů].

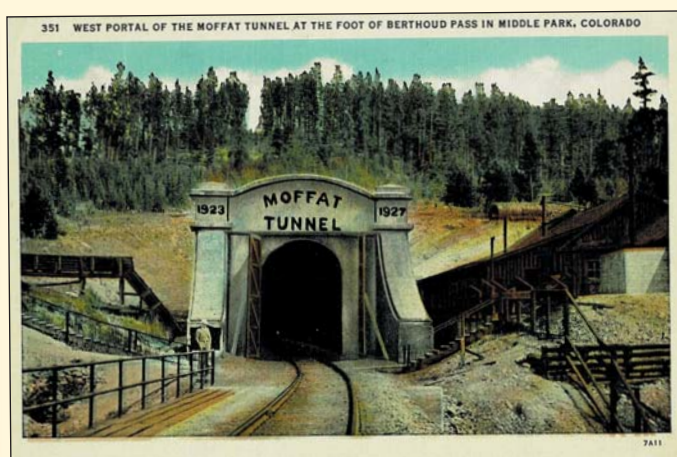
Na pohlednici je edukativním způsobem představená složitá geologie přechodu přes řeku Hudson, stejně jako tubingová výztuž tunelů.

Fig. 2 North River – Hudson. River bottom formed by silt. Penna Tunnel cross-section. New York. 10781-37 Rotary Photo, London, E. C. 1923 [authors' collection].

The postcard shows the complex geology of the crossing under the Hudson River, as well as the segmental lining of the tunnels.

Nové plány na překonání řeky železnicí se vážou až k počátku 20. stol. O stavbě tunelů rozhodlo to, že vyžadovaly pouze třetinový zábor pozemků oproti ploše potřebné pro mosty. Projektování a realizace dráhy byly organizované do tří hlavních divizí: *Meadows*, *North River* a *East River*. V divizi *North River* šlo o dva železniční tunely. Byly zahájené 1904, proražené 9. 10. 1906 a uvedené do provozu 27. 11. 1910. Jsou jednokolejné, standardního rozchodu, Ø 5,6 až 5,9 m a jejich délka se uvádí 4 442 m. Výstavba příbřežních rampových úseků probíhala konvenčními postupy s rozpojováním horniny trhavinou, ve svízelných poměrech pod řekou byly nasazené pneumatické štíty (obr. 2).

Od roku 1976 je provozovatelem železniční společnost Amtrak. Technické řešení a stav tunelů dnes umožňuje za hodinu max. 24 průjezdů vlaků a po 110 letech provozu již zdaleka nedostačuje potřebám. Proto byl v roce 2021 schválený projekt dostavby. Hudsonské tunely byly roku 1978 prohlášené za Národní kulturní památku inženýrského stavitelství [2].



Obr. 3 Západní portál tunelu Moffat na úpatí průsmyku Berthoud v Middle Parku v Coloradu. Velký tunel Moffat, dlouhý 6 mil, vede ve středním Coloradu pod Kontinentálním rozvodím. Je jednou z největších technických zajímavostí Coloradu. Jeho stavba trvala čtyři roky a umožnila hospodárné železniční spojení mezi oběma polovinami státu, před tím rozděleného vysokou horskou bariérou. Tunel také přivádí vodu ze západní strany na stranu východní. Kolovaná fotografie. Sandborn Souvenir Co. Denver, Colo. 1904 [sbírka autorů].

Fig. 3 Western portal of the Moffat Tunnel at the foot of the Berthoud Pass in Middle Park, Colorado. The great, 6 miles long, Moffat Tunnel, runs under the Continental Divide in Middle Colorado; it is one of the greatest engineering features of Colorado. Taking four years to build, it made an economic railway connection between the two halves of the state so long divided by a high mountain barrier. The tunnel also brings water from the western side to the eastern side. Coloured photograph. Sandborn Souvenir Co. Denver, Colo. 1904 [authors' collection].

Moffatův železniční tunel v Coloradu

Nejvyšší bod kontinentálního předělu v severo-centrálním Coloradu (2 816 m n. m.) protíná dvojice významných podzemních staveb. Je to tunel pojmenovaný po průkopníkovi místní železnice Davidu Moffatovi (obr. 3) a s ním souběžná vodohospodářská štola. Tunel navrhoval D. Moffat již v roce 1902. Měl vyřešit velký sklon trati (až 4 %) a značné potíže s odklíněním sněhu. Realizaci projektu však bránily finanční problémy, pro které mohly být práce zahájené až v roce 1923. Při stavbě byla 23 m jižně od tunelu předražena souběžná štola profilu 2,4 x 2,4 m, později přeražená pro vodárenské účely. Špatné geotechnické poměry na západním konci tunelu v roce 1925 značně zpzdily stavbu a velmi citelně zvýšily náklady. Prorážka průzkumné štoly připadla na 18. 2. 1927, kdy poslední odpal provedl na dálku z Washingtonu D. C. sám prezident Coolidge a přímo z hory byla k události vysílaná rozhlasová reportáž. Železniční tunel byl proražený 7. 7. 1927, zahájení provozu připadlo na 26. 2. 1928. Jeho ražení trvalo 48 měsíců, za průměrných denních postupů 6,4 m. Náklady plánované na 6,62 mil. US \$ však byly výrazně překročeny a činily včetně vodovodní štoly 15,6 mil. \$ (v dnešních cenách cca 235 mil. \$). Během pětileté stavby zahynulo 28 lidí, šest z nich v jedné z jeskyní najednou za bouře dne 30. 7. 1926. Dokončení navazujících staveb v roce 1932 pak zkrátilo železnici mezi Denverem a pobřežím Tichého oceánu o plných 283 km. Poškozování kolejnicových styků v tunelu korozními účinky uhelného kouře a parního kondenzátu si v roce 1930 vynutilo nahrazení klasických stykovaných kolejnic bezstykovou kolejí. Šlo o jednu z prvních takovýchto instalací v USA.

Jednokolejný, neelektrifikovaný železniční tunel je při sklonu 0,8 % dlouhý 10,0 km (se světlou výškou 7,3 m a šířkou 5,5 m). Denně jím jezdí v průměru 15 vlaků, mezi nimi i transkontinentální *Kalifornský Zephyr* společnosti Amtrak. Dnes tunel slouží především nákladní dopravě včetně transportu uhlí pro energetiku. Paralelní vodovodní štola je široká 3,2 m a od roku 1936 přivádí z paci-

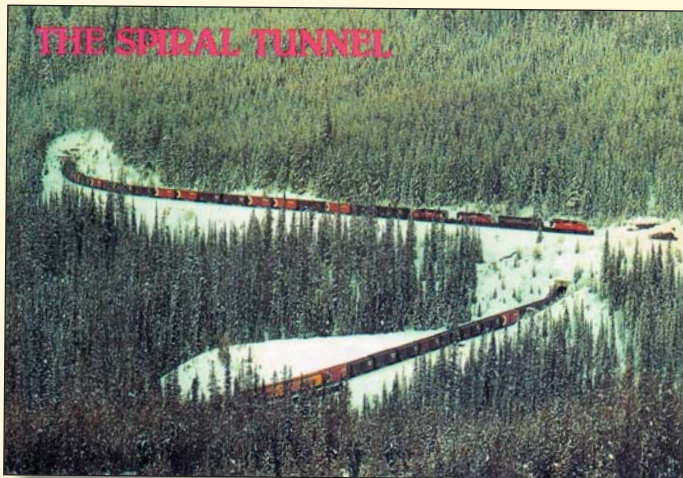
fického povodí až $36 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ vody do oblasti Denveru. Od roku 1979 patří tunel mezi Národní historické stavební památky USA [3].

Smyčkové tunely (Spiral Tunnels) v Kanadě

Vláda Kanady vyvíjela trvalý tlak na společnost *Canadian Pacific Railway* (CPR) ve smyslu zahájení brzkého spojení k Tichému oceánu. Proto, a také vzhledem k blízkosti hranic s USA, byla zvolena nejkratší trasa vedoucí přes Skalisté hory (*Rocky Mountains*) průsmykem Kopajícího koně (*Kicking Horse Pass – 1 627 m n. m.*) v provincii Britská Kolumbie.

Technické řešení trati v extrémním horském terénu však mělo již od zahájení provozu v roce 1884 charakter provizoria. Vlaky tak musely dlouhých 25 let zmáhat 6,6 km stoupání 4,5 % do tzv. Velkého kopce (*Big Hill*) v průsmyku *Kicking Horse Pass*. Soupravy omezené hmotnosti 710 tun přitom musely obsluhovat současně čtyři lokomotivy. Pro sjezd pak jako záchranný systém sloužily tři odvrtné větve s protisklony. Výhybky byly přestavené do odvrtných kolejí tak dlouho, dokud se obsluha trati nepřesvědčila, že vlak je dostatečně brzděný, teprve pak byly výhybky přestavené dále po spádu. Jednalo se o technicky náročné, drahé a potenciálně nebezpečné řešení.

Definitivní nahrazení těžkopádného systému navrhl inženýr J. E. Schwitzer. Mezi nádražím *Field* a údolím řeky *Kicking Horse River* tak 1 000 pracovníků v letech 1907 až 1909 vybudovalo zcela nový úsek trati. Jeho základním prvkem jsou dva neelektrifikované jednokolejné Smyčkové tunely (*Spiral Tunnels*). Oba opisují cca $\frac{3}{4}$ plné smyčky o poloměru 174,7 m. Horní smyčkový tunel (*Upper Spiral Tunnel, Tunnel no. 1*) v hoře *Cathedral Mt.* má délku 992 m, Dolní smyčkový tunel (*Lower Spiral Tunnel, Tunnel no. 2*) v hoře *Mt. Ogden* je dlouhý 891 m – obr. 4. Nová



Obr. 4 Smyčkový tunel. Smyčkový tunel byl postavený v roce 1909 pro snížení strmého stoupání dráhy v průsmyku *Kicking Horse*. Stavělo jej po dva roky 1 000 mužů. Vede v délce 961 yardů přes horu *Mt. Ogden* a 1 065 yardů do údolí *Cathedral Crags*.

Photo: C. P. Archives. © High Country Colour Box 638 Stn G Calgary Alta T3A 2G5. Okolo 1980? [sbírka autorů].

Pohled na portály Smyčkových tunelů od východu. Vlevo nahoře Horní tunel v hoře *Cathedral Mt.* a vpravo Dolní tunel v hoře *Mt. Ogden*. Délka projíždějících vlaků si zaslouží obdiv. Délky tunelů na popisu pohlednice se nicméně rozcházejí s parametry uváděnými v základní literatuře [4].

Fig. 4 The Spiral Tunnel. The Spiral Tunnel was constructed in 1909 to reduce the steep gradient of the rail track in the *Kicking Horse Pass*. 1,000 men worked two years to complete the Spiral Tunnel, 961 yards of which run through *Mt. Ogden* and 1065 yards down the *Cathedral Crags* valley.

Photo: C. P. Archives. © High Country Colour Box 638 Stn G Calgary Alta T3A 2G5. Around 1980? [authors' collection].

The portals of the Spiral Tunnels viewed from the east. The Upper Tunnel in *Cathedral Mt.* and the Lower Tunnel in *Mt. Ogden* are viewed in the top left and right corners, respectively. The length of passing trains deserves admiration. However, the lengths of the tunnels on the postcard description differ from the parameters presented in basic literature [4].

trasa měří celkově 13,2 km a umožňuje provoz vlaků hmotnosti až 980 tun poháněných, při polovičním sklonu 2,2 %, již toliko dvěma lokomotivami.

Dodnes se však jedná o jednu z nejstrmějších železničních tratí a jediné použití smyčkových tunelů v Severní Americe. Stavba úseku přišla dobově na 1,5 mil. CAD \$ (současný ekvivalent cca 300 mil. CAD \$). Nyní podle nepravidelného jízdního řádu projíždí denně smyčkovými tunely v průměru 25 až 30 vlaků. A tento úsek železnice je pro historii Kanady dokonce tak významný, že *Kicking Horse Pass* byl v roce 1971 označený za Národní historické místo [4].

Tunel Toothrock v Oregonu

První dálnici postavenou na severozápadě USA byla *Columbia River Highway*, vedená v Oregonu podél stejnojmenné mohutné řeky. Stavba původní, cca 121 km dlouhé komunikace probíhala mezi lety 1913 až 1922. Prudký nárůst automobilového provozu si však téměř vzápětí vynutil její napřímení a zkapacitnění. Postupné přetrasování probíhalo ve 30. až 50. letech 20. stol. Dnes je autostráda provozovaná jako Interstate 84, a nad to zařazená v roce 1984 mezi Národní historické památky stavebního inženýrství. Nacházejí se na ní tři tunely. Jeden z nich, poblíž přehrady *Bonneville*, je pojmenovaný *Toothrock* (též *Tooth Rock*) – obr. 5. Byl otevřený roku 1937, je dlouhý 255,1 m a má, při světlé šířce 8,5 m a výšce 4,9 m, stále jen původní dva jízdní pruhy [5].



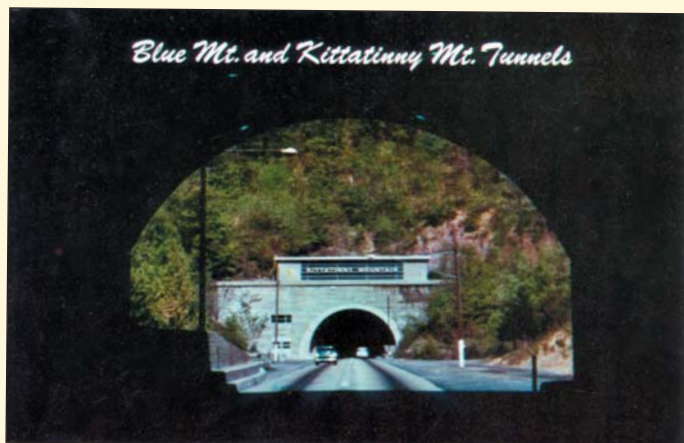
Obr. 5 Řeka *Columbia* – tunel *Bonneville*. Dálnice pojmenovaná *Columbia River Highway* prochází širokým údolím stejnojmenné mohutné řeky. V horách pro ni byly proraženy tunely, které vidícím zpřijemňují cestu. Photo by H. A. Williams. Pub. by Smith-Western Inc. 224 S. W. Jefferson, Portland, Oregon. Okolo 1960 [sbírka autorů].

Na pohlednici je západní portál tunelu, jehož správné jméno je *Toothrock* (někdy psáno též *Tooth Rock*). Portál je z klasického kamenného zdiva, ačkoliv ostění tunelu je provedené již výhradně z betonu. Vlevo je vidět hladina přehradního jezera *Bonneville*.

Fig. 5 *Columbia River – Bonneville Tunnel*. The motorway named *Columbia River Highway* runs along the wide valley formed by the mighty river of the same name. The tunnels which were cut through mountains make the motorists' travel pleasurable. Photo by H. A. Williams. Pub. by Smith-Western Inc. 224 S. W. Jefferson, Portland, Oregon. Around 1960 [authors' collection]. There is the western portal of the tunnel, whose correct name is *Toothrock* (sometimes also written *Tooth Rock*), on the postcard. The portal is made of classic stone masonry, but the lining of the tunnel is made exclusively of concrete. The surface of *Bonneville Lake* can be seen on the left.

Tunely *Blue Mt.* a *Kittatinny Mt.* v Pensylvánii

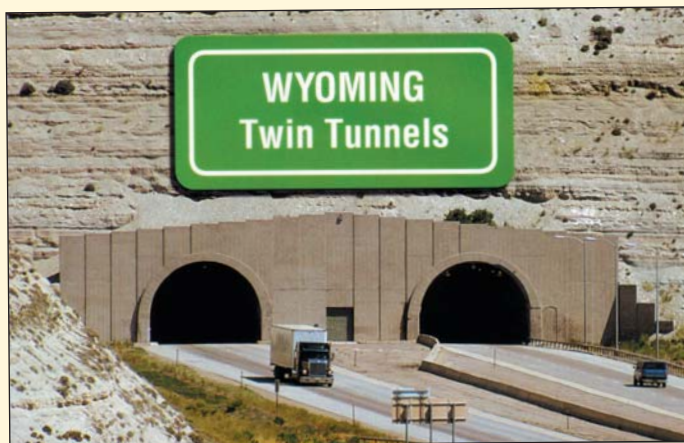
Pennsylvania Turnpike je jako součást Interstate 76 zpoplatněnou dálnicí vedenou napříč státem směrem východ – západ. Byla postavená ve 30. letech 20. stol. v trase opuštěné železnice. Při překonávání Appalačského pohoří (*Appalachian Mountains*) bylo vyraženo sedm tunelů celkové délky 7,2 km; ty také daly komu-



Obr. 6 Tunely Blue Mt. a Kittatinny Mt. Pennsylvania Turnpike „Největší dálnice světa“. Výhled z tunelu Blue Mt. (dlouhého 4 339 stop) směrem k západu a vjezdu do sousedícího tunelu Kittatinny Mt. (dlouhého 4 727 stop). Dálnice Pennsylvania Turnpike překonává celé pásmo Appalačského pohoří sérií sedmi tunelů, z nichž nejdelší má více než jednu míli. Howard Johnson Publishing Department, Bedford, Pa. 1964 [sbírka autorů].

Fig. 6 Blue Mt. And Kittatinny Mt. Tunnels. Pennsylvania Turnpike. „World's Greatest Highway“. View from within Blue Mt. Tunnel (4339 ft. long) looking westward toward entrance of adjacent Kittatinny Mt. Tunnel (4727 ft. long). The Pennsylvania Turnpike crosses the full range of the Appalachian Mountains by a series of seven tunnels, the longest one of which is over a mile long. Howard Johnson Publishing Department, Bedford, Pa. 1964 [authors' collection].

nikaci dobovou přezdívku „tunelová dálnice“. Z úsporných důvodů však šlo vždy pouze o jeden tunel se dvěma jízdnicími pruhy a obousměrným provozem. Již koncem 50. let však bylo zřejmé, že takto koncepce činí tunely zásadními úzkými hrdly provozu. Nezbytná rekonstrukce byla provedena u čtyř tunelů dostavbou druhé tunelové trouby a zbývající tři byly nahrazeny otevřenými zářezy. Dva tunely ze zbývajících čtyř se nacházejí v okrese Franklin. Zde procházejí stejnojmennými kopci Blue Mountain a Kittatinny Mountain. Odděluje je v nepatrném odstupu toliko 160 m široké



Obr. 7 Tunely Dvojčata (Twin Tunnels), Wyoming. Tunely Dvojčata se nacházejí na jihu Wyomingu, v údolí řeky Green River, na dálnici Interstate 80. Řeka Green River ve Wyomingu je přes Hwy 530 severní branou do krásné národní rekreační oblasti Flaming Gorge. Photo © Larry Friedman. Wyoming Trading Company, P.O. Box 670, Mills WY 82644. Okolo 2000 [sbírka autorů].

Oficiální název tunelu je Green River. Na pohlednici jsou vidět charakteristické sdrúžené západní portály těchto Dvojčat (Twin).

Fig. 7 Twin tunnels, Wyoming. Twin Tunnels are located in southern Wyoming in the Green River valley, on Interstate 80 motorway. Via motorway Hwy 530, the Green River in Wyoming is the northern gateway to the beautiful Flaming Gorge national recreation area. Photo © Larry Friedman. Wyoming Trading Company, P.O. Box 670, Mills WY 82644. Around 2000 [authors' collection]. The official name of the tunnel is Green River. The postcard shows the characteristic western combined portal of the Twin tunnels.

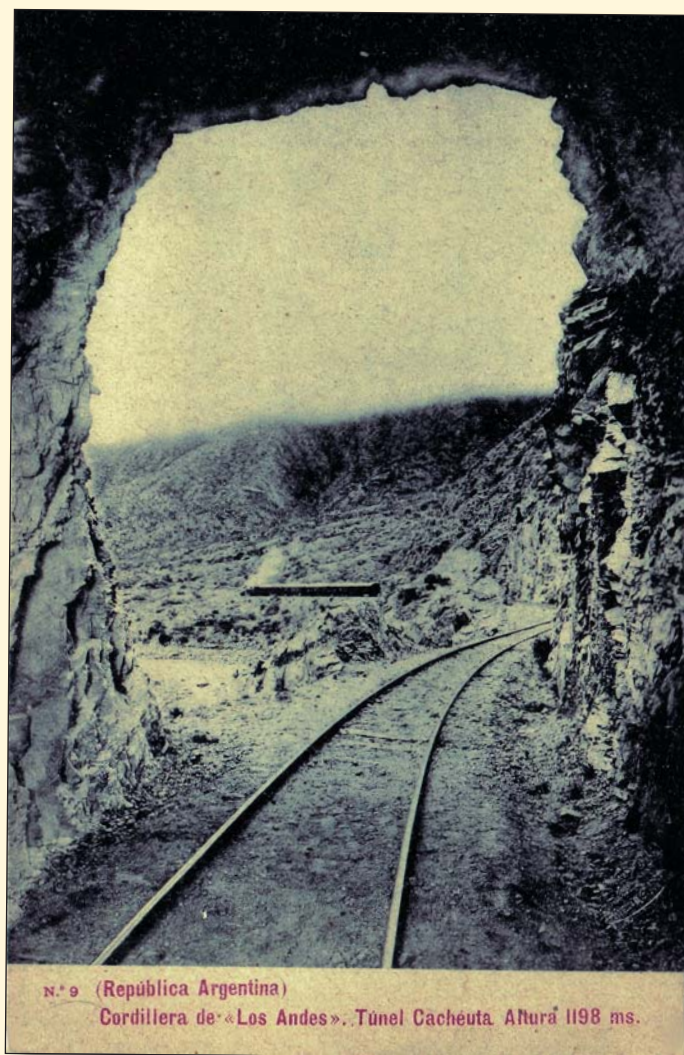
údolí Gunter (Gunter Valley) – obr. 6. Dostavba jejich druhých tunelů byla zahájena 18. 4. 1966 a ukončena 18. 3. 1970. Oba tunely mají od té doby standardní dvě trouby po dvou jízdnicích pružích šířky 4 m. Tunel Blue Mountain je přitom s 1 323 m nejkratším z provozovaných tunelů, tunel Kittatinny Mt. měří 1 441 m. Realizace všech dostaveb dbala, mimo jiné, rovněž na důsledné zachování rázu původních portálů [6 až 8].

Tunel Green River ve Wyomingu

Skrze skalní hřeben Green River ve Wyomingu prochází dálnice Interstate 80 (pojmenovaná D. D. Eisenhower Highway) dvěma tunely lidově zvanými Dvojčata (Twin) – obr. 7. Tunely dlouhé 346,9 m mají pro každý směr po dvou jízdnicích pružích a slouží dopravě od 28. 10. 1966 [9].

Železniční tunel Cacheuta v Argentíně

Za dalším tunelem se musíme vydat až do Argentiny, k úpatí And. Tunel Cacheuta se nachází na trati zvané Transandská že-



Obr. 8 No. 9 (Republika Argentina) Andské pohoří. Tunel Cacheuta. Výška 1198 m. ?? Před rokem 1920 [sbírka autorů].

Výhled z jižního portálu nevyzděného tunelu. Párou tažený vlak v pozadí jede do Mendoza. Trať obloukem obchází svahy hory Cerro Cacheuta (2 316 m n. m.), která morfologicky již náleží k Andám. Vlevo dole pod tratí je vidět řeku Mendoza, která dala jméno celé provincii.

Fig. 8 No. 9 (Argentina Republic) the Andes mountain range. The Cacheuta Tunnel. Elevation 1198m a.s.l. Before 1920 [authors' collection].

View from the southern portal of the tunnel without masonry lining. A steam-drawn train in the background goes to Mendoza. The curving track bypasses the slopes of Cerro Cacheuta mountain (2,316m above sea level), which, in terms of morphology, already belongs to the Andes. At the bottom left, below the track, you can see the Mendoza River, which gave its name to the whole province.

leznice (*Ferrocarril Transandino*). Jedná se o kombinovanou trať dlouhou 248 km, kde se střídá ozubnice systému Abt s adhezí železnicí rozchodu 1 000 mm. Vede z města Mendoza v Argentině, průsmykem Uspallata přes pohory And, do Santa Rosa de Los Andes v Chile. Stoupá do výšky téměř 3 200 m n. m. do Las Cuevas, kde vstupuje do cca 3,2 km dlouhého hraničního tunelu Cumbre. Trať přitom zhruba sleduje starodávnou trasu cestovatelů překračujících s mulami a vozíky Andy mezi Chile a Argentinou a zároveň spojuje železniční síť obou zemí, provozované s širokým rozchodem 1 676 mm.

Práce na stavbě byly zahájeny v roce 1887 a vzhledem k finančním problémům postupovaly s přestávkami dlouhých 23 let. Celá trať byla proto poprvé uvedena do provozu až v roce 1910. K roku 1927 byla trať elektrifikována a posléze provozovaná s nasazením švýcarských lokomotiv.

Tunel Cacheuta je vzdálený zhruba 37 km od města Mendoza (767 m n. m.), výchozího bodu Transandské železnice a cca 3 km od stejnojmenné železniční stanice Cacheuta (1 228 m n. m.). Lázeňské městečko s vývěry termálních a sirných pramenů mělo svůj největší rozkvět spojený právě s Transandskou železnicí. Je však

obklopené horami a nachází se příliš daleko pro standardní turistický ruch. Samotný jednokolejný tunel Cacheuta je v nadmořské výšce 1 198 m, má délku cca 100 m a byl realizovaný v letech 1887 až 1891, v rámci výstavby prvního úseku mezi Mendozou a Uspallatou. Byl vyražený s použitím trhacích prací pravděpodobně ve velmi pevných skalních horninách, a proto také, jak je patrné z obr. 8, nebyl opatřený ostěním.

Kvůli omezení nákladní a osobní přepravní kapacity a později i kvůli konkurenci ze strany automobilové dopravy, spolu s nebezpečím a relativním nepohodlím a také pomalým pohybem vlaků ale nebyla Transandská železnice nikdy komerčním úspěchem. Osobní železniční doprava zde skončila v roce 1979 a zanedlouho v roce 1984 projel také poslední nákladní vlak. Od té doby je tak železnice mimo provoz [10, 11].

*doc. Ing. VLADISLAV HORÁK, CSc.,
Ing. MILAN MAJER,
Ing. RICHARD SVOBODA, Ph.D.,
Bc. JAROSLAV GLISNÍK*

LITERATURA / REFERENCES

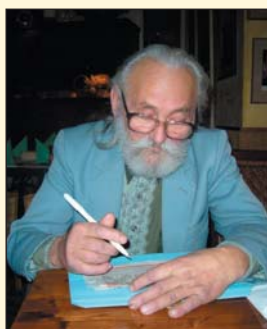
- [1] Hollandův tunel [online]. [cit. 2022-03-27]. Dostupné na internetu < Hollandův tunel – Wikipedie (wikipedia.org) >
- [2] North River Tunnels [online]. [cit. 2022-03-27]. Dostupné na internetu < North River Tunnels – Wikipedie >
- [3] Moffat Tunnel [online]. [cit. 2022-03-27]. Dostupné na internetu < Moffat Tunnel – Wikipedie >
- [4] CPR SPIRAL TUNNELS CENTENNIAL [online]. [cit. 2022-03-27]. Dostupné na internetu < CPR SPIRAL TUNNELS CENTENNIAL SPECIAL (canadianrailwayobservations.com) >
- [5] Toothrock Tunnel („Tooth Rock Tunnel“) [online]. [cit. 2022-03-27]. Dostupné na internetu < The Columbia River – Toothrock and Toothrock Tunnel, Oregon (columbiariverimages-com.translate.goog) >
- [6] Pennsylvania Turnpike [online]. [cit. 2022-03-27]. Dostupné na internetu < Pennsylvania Turnpike – Wikipedie >
- [7] Blue Mountain Tunnel [online]. [cit. 2022-03-27]. Dostupné na internetu < Blue Mountain Tunnel – Wikipedie >
- [8] Kittatinny Mountain Tunnel [online]. [cit. 2022-03-27]. Dostupné na internetu < Kittatinny Mountain Tunnel – Wikipedie >
- [9] Green River tunel ve Wyomingu [online]. [cit. 2022-03-27]. Dostupné na internetu < Green River Tunnel – Wikipedie >
- [10] Transandine Railway – Wikipedie [online]. [cit. 2022-03-27]. Dostupné na internetu < Transandine Railway – Wikipedie >
- [11] Ferrocarril Trasandino [online]. [cit. 2022-03-27]. Dostupné na internetu < errocarril-trasandino.com.ar >

VÝROČÍ ANNIVERSARIES

PĚTADEVADESÁT LET ING. KARLA ZÁVORY NINETY FIFTH ANNIVERSARY OF KAREL ZÁVORA BIRTH

V dubnu letošního roku se Ing. Karel Závora dožívá úctyhodného životního jubilea 95 let. Celý život pracoval jako projektant zpočátku mostních konstrukcí a poté jako projektant podzemních staveb. Publikoval v odborných časopisech, konzultoval a vychovával nové odborníky na podzemní stavby.

Narodil se 20. 4. 1927 v Praze na



In April of this year, Ing Karel Závora is living to reach the respectable life anniversary of 95 years. All his life he worked in positions of a designer of bridge structures and then in positions of a designer of underground structures. He published in professional journals, consulted and educated new experts in underground construction.

He was born on April 20, 1927 in Prague's Břevnov district, Helena Malířová Street. In 1933, his parents moved to Seidl's Houses on Bělohorská Třída Street. In 1953 he married into the family villa of the academic painter and graphic artist Bohumil Klimeš – Kozina,

Břevnově, v ulici Heleny Malířové. V roce 1933 se rodiče přestěhovali do Seidlových domů na Bělohorské třídě. V roce 1953 se přiženil do rodinné vilky akademického malíře a grafika Bohumila Klimeše – Koziny, kde s jeho vnučkou, manželkou žije dodnes. Vychovali tři dcery, které se jim dnes odměnily šesti právnoúčaty, sedmé na cestě.

Po studiích na ČVUT Fakulta inženýrského stavitelství, kterou úspěšně absolvoval v roce 1951, nastoupil na Stavební správu pro železniční trať Havlíčkův Brod – Plzeň. Zde začal pracovat jako projektant mostních objektů. Po návratu ze základní vojenské služby pracoval od roku 1955 ve skupině tunelových staveb v projektovém ústavu SUDOP Praha. Začínal rekonstrukcí železničních tunelů např. Blanenského, Hanušovického, Vlašského a mnoha dalších. Při delimitaci ke stavební firmě Stavby silnic a železnic v roce 1958 byl členem projekční skupiny, která zpracovávala projekty pro závod Baraba. Pokračoval na projektech rekonstrukcí mnoha dalších železničních tunelových staveb. V roce 1963 se Ing. Karel Závora vrátil do projektového ústavu SUDOP Praha. V té době zde řešil prováděcí projekty novostavby dvoukolejného tunelu pod Bílou skálou v Praze.

V roce 1967 se začalo v Praze stavět metro, trasa C a Ing. Karel Závora jako uznávaný odborník na tunelové stavby se aktivně podílel na projektech. Dne 1. 5. 1971 byl z projektového ústavu SUDOP Praha delimitován 5. odbor a v rámci Dopravního podniku hl. města Prahy vytvořen nový projektový ústav DP METROPROJEKT, který úspěšně zvládal náročné projekty metra v Praze. Ing. Karel Závora zde pracoval jako hlavní specialista na tunelové stavby. Podílel se na projektech většiny ražených tunelových úseků a ražených stanic metra. Současně vedl a vychovával řadu mladých kolegů, tunelářů a intenzivně se věnoval získávání nových zkušeností a poznatků z celého světa a prosazoval je do projektů metra. Byl jedním z hlavních projektantů a konzultantů při výstavbě pražských tras metra. Byl vyslán do Londýna na sjednání objednávky litinového ostění – tubingů do pražského metra. Pražské metro se díky jemu a mnoha jeho kolegům stalo po zásluze „stavbou 20. století“ České republiky.

Ochodem do důchodu v roce 1992 z METROPROJEKTU Praha a. s. neskončila jeho odborná aktivní činnost. Využíval své bohaté zkušenosti, které stále uplatňoval při své konzultační činnosti na projektech železničních i dálničních tunelů v České a Slovenské republice. Rovněž se aktivně zapojil do projektů a realizace trasy V.A pražského metra. Zúčastnil se v rámci organizace FRAM Praha stavby Silničního okruhu kolem Prahy, obou tunelových staveb SO 513 a SO 514 a založení mostů. Po jejich dokončení spolupracoval jako geotechnik na modernizaci železničních tratí Střekov – Litoměřice a Ústí n. L. – Chomutov – Žatec.

Nyní na zaslouženém odpočinku pečuje o německé ovčáky, které miluje celá rodina. Velkou Karlovou radostí je současná věrná čtyřnohá černá přítelkyně Wega. Celý život se Ing. Karel Závora věnoval, kromě odborné činnosti, také sportu, košíkové, lyžování, splouvání řek, absolvoval cvičitelské kurzy a vedl spolu s manželkou dětské sportovní skupiny v rámci TJ Dopravních podniků, ale i jinde. Také rád s manželkou cestovali po celé Evropě.

Dnes se Ing. Karel Závora těší dobrému fyzickému i duševnímu zdraví.

Ještě bych chtěl poznamenat krédo Ing. Karla Závory:

Když už ses na ten zamotaný svět narodil, tak mu buď alespoň v něčem prospěšný.

Jménem členů redakční rady časopisu Tunel a jménem všech přátel a kolegů všichni Ing. Karlovi Závorovi přejeme, aby mu vydržel jeho životní elán a optimismus a hlavně, aby se ve zdraví dožil mnoha dalších let.

*Ing. MIROSLAV NOVÁK
METROPROJEKT Praha a. s.*

where he still lives with his granddaughter and wife. They raised three daughters, who rewarded them by six great-grandchildren, the seventh on the way.

After studying at Czech Technical University, the Faculty of Civil Engineering, from which he successfully graduated in 1951, he joined the Construction Administration for the Havlíčkův Brod – Plzeň railway line. Here he started working in the position of a bridge designer. After returning from compulsory military service, he worked from 1955 in a group of tunnel construction projects at the SUDOP Prague design institute. He began with the reconstruction of railway tunnels such as Blansko, Hanušovice, Vlašsko (Lachia) ones and many others. During the delimitation to the construction company Stavby silnic a železnic in 1958, he was a member of a design group that worked on designs for the Baraba plant. He continued on the reconstruction projects of many other railway tunnels. At that time, he was working on the final designs for the new double-track tunnel under Bílá Skála rock in Prague.

In 1967, the construction of the metro began in Prague, on the Line C and Ing. Karel Závora, as a recognized expert in tunnel construction, actively participated in designing. On 1 May 1971, the 5th Department was delimited from the SUDOP Prague design institute and a new DP METROPROJEKT designing institute was established within the Prague Public Transit Company, which successfully managed demanding metro projects in Prague. Ing. Karel Závora worked there in a position of the main specialist in construction of mined stations. He participated in the designs for most mined tunnel sections and mined metro stations. At the same time, he led and educated a number of young colleagues, tunnellers and was intensely involved in gaining new experience and knowledge from around the world and promoting them in metro designs. He was one of the main designers and consultants in the construction of the Prague metro lines. He was sent to London to arrange an order for cast-iron linings – tubings for the Prague metro. Thanks to him and many of his colleagues, the Prague metro became the „Construction of the 20th century” of the Czech Republic.

His professional activities did not end with his retirement in 1992 from METROPROJEKT Praha a. s. He used the wealth of his experience, which he still applied in his consulting activities on railway and highway tunnel projects in the Czech and Slovak Republics. He was also actively involved in designing and construction of the V.A Line of the Prague metro. He participated in the construction of the Prague Ring Road contracts SO 513 and SO 514 for both tunnels and in the foundation of bridges within the organization FRAM Prague. After their completion, he worked in a position of a geotechnician on the modernisation of the Střekov – Litoměřice and Ústí n. L. – Chomutov – Žatec railway lines.

Now, on a well-deserved rest, he takes care of German shepherds, which are loved by the whole family. Charles' great joy is his current faithful four-legged black friend Wega. In addition to his professional activities, Ing. Karel Závora also devoted himself to sports, basketball, skiing, river rafting. He completed training courses and led, together with his wife, a children's sports groups within sports unity TJ Dopravní podnik, but also elsewhere. He and his wife also enjoyed travelling all over Europe.

Today, Ing. Karel Závora enjoys good physical and mental health.

I would also like to note the credo of Ing. Karel Závora:

When you happened to be born into that tangled world, at least be beneficial to it.

On behalf of the members of the editorial board of the Tunel journal and on behalf of all friends and colleagues, we all wish Ing. Karel Závora that his vitality and optimism will last him and, most importantly, that he will live many more years in good health.

*Ing. MIROSLAV NOVÁK
METROPROJEKT Praha a. s.*

85. NARODENINY ING. JOZEFA FRANKOVSKÉHO 85TH ANNIVERSARY OF ING. JOSEF FRANKOVSKÝ BIRTH

V kruhu svojich najbližších oslávil 19. marca 2022 Ing. Jozef Frankovský 85 rokov. Rada by som sa za redakčnú radu pripojila ku gratulantom k týmto krásnym polookrúhlym narodeninám. Ing. Jozef Frankovský je jeden z nestorov tunelového staviteľstva na Slovensku, čestný člen Slovenskej tunelárskej asociácie, znalec krás slovenského jazyka a v neposlednom rade aj dlhoročný odborný redaktor časopisu TUNEL.



Jozef Frankovský sa narodil 19. marca 1937 v rodine súkromne hospodáriacich roľníkov v zamagurskej dedinke Veľká Franková na severnom Spiši priamo na hranici s Poľskom. Jeho rodným jazykom bola goralčina, jazyk podstatne bližší poľštine než slovenčine. Výučbu v tzv. mešťianke však absolvoval už v slovenskom jazyku, ktorý si nielen osvojil, ale získal v ňom štylistickú a gramatickú úroveň prevyšujúcu väčšinu z nás, pre ktorých je materinským jazykom.

V štúdiách pokračoval najskôr na baníckom učilišti v Sirku a neskôr na baníckej priemyslovke v Rožňave. Roky rannej mladosti trávil striedavo na severnom Spiši a Gemeri. Po skončení vojenskej služby dostal ponuku zamestnania v podniku Banské stavby v Prievidzi, ktorú prijal. Kúpeľné mesto Bojnice a neskôr blízka Prievidza sa mu stali domovom, kde si našiel manželku, vychoval synov a užíva si krásy života aj dnes.

V čase, keď štúdium vysokej školy bolo podmienené správnym kádrovým profilom, získal vďaka svojim schopnostiam súhlas so začatím diaľkového štúdia na Baníckej fakulte Vysokej školy technickej v Košiciach. V roku 1961 začal diaľkovo študovať napriek svojmu pre tú dobu nie úplne vhodnému pôvodu a v roku 1967 získal diplom banského inžiniera v odbore hlbinné dobývanie a výstavba baní.

Obdobie tzv. normalizácie po roku 1968 znamenalo pre viacerých z generácie talentovaných mladých inžinierov pôsobiacich na Banských stavbách stopku. Medzi nimi bol aj čerstvý inžinier Jozef Frankovský. V období medzi rokmi 1969 a 1989 pracoval vo viacerých funkciách na úseku technického rozvoja. Podieľal sa na vývoji na svoju dobu pokročilých technológií, či už v oblasti raziaria, banskej dopravy alebo vystrojenia (panelová výstuž, striekaný betón). Aktívne sa zúčastnil na viacerých pozoruhodných banských a podzemných dielach, ako príklad môžeme uviesť Novú odvodňovaciu štôľňu Voznica, prečerpávaciu vodnú elektrárňu Čierny Váh, alebo výstavbu Bane Cigeľ.

Schopnosť naučiť sa a aktívne používať cudzie jazyky, nemčinu, angličtinu i francúzštinu mu v tomto období umožnila účasť na medzinárodných aktivitách Banských stavieb. Tie zahŕňali nielen zákazky v zahraničí, napríklad v Nemecku alebo v Chorvátsku, ale aj nákup špeciálnej techniky, napríklad plnoprofilového raziaceho stroja Wirth, ktorý bol použitý pri výstavbe Novej odvodňovacej štôľne vo Voznici a neskôr pri razení prieskumnej štôľne pre tunel Branisko.

Politické a ekonomické zmeny po novembri 1989 priniesli oslávencovi zmeny v pracovnom živote. V roku 1990 pôsobil ako poverený riaditeľ podniku Banské stavby, v rokoch 1991 až 1993 ako riaditeľ odboru ťažby nerastných surovín na Ministerstve hos-

On March 19, 2022, Ing. Jozef Frankovský celebrated his 85th birthday in the circle of his loved ones. I would like to join the editorial board in congratulating him on this beautiful semi-round birthday. Ing. Jozef Frankovský is one of the nestors of tunnel construction industry in Slovakia, an honorary member of the Slovak Tunnelling Association, an expert on the beauties of the Slovak language and, last but not least, a long-time professional editor of TUNEL journal.

Jozef Frankovský was born on March 19, 1937 in a family of private farmers in the Zamagura village of Veľká Franková in the region of northern Spiš, right on the border with Poland. His native language was Goral, a language much closer to Polish than Slovak. However, he completed his learning in the so-called burgher school in the Slovak language, which he not only mastered, but also acquired a stylistic and grammatical level exceeding most of us for whom it is the mother tongue.

He continued his studies first at the training institution of mining in Sirk and later at the secondary vocational school of mining in Rožňava. He spent his early youth alternately in northern Spiš and Gemer. After completing the compulsory military service, he received an offer of employment at the Banské Stavby company in Prievidza, which he accepted. The spa town of Bojnice and later the nearby town of Prievidza became his home, where he found a wife, raised sons and enjoys the beauty of life even today.

At the time when university studies were conditioned by the "proper" personnel profile, he obtained, thanks to his abilities, the consent to start extramural studies at the Faculty of Mining of the Technical University in Košice. In 1961, he began to study extramurally, despite his origins, which were not entirely convenient at that time, and in 1967 he received a diploma in mining engineering in the field of deep mining and mine construction.

The period of the so-called normalisation after 1968 meant a stop for several members of the generation of talented young engineers working with Banské Stavby (Mining Construction) company. Fresh engineer Jozef Frankovský was also among them. Between 1969 and 1989, he worked in several positions in the field of technical development. He participated in the development of for that time advanced technologies, whether in the field of mining, mine transport or excavation support (segmental lining, sprayed concrete). He actively participated in several remarkable mining and underground workings, such as the New Drainage Gallery Voznica, the Čierny Váh pumped storage power plant, or the construction of the Cigeľ Mine.

His ability to learn and actively use foreign languages, German, English and French during that period enabled him to participate in international activities of Banské Stavby. These included not only contracts abroad, for example in Germany or Croatia, but also the purchase of special equipment, such as the full-face Wirth tunnel boring machine, which was used in the construction of the New Drainage Tunnel in Voznica and later in the excavation of an exploratory gallery for the Branisko Tunnel.

Political and economic changes after November 1989 brought Ing. Frankovský changes in his working life. In 1990 he worked in the position of the authorised director of Banské Stavby, from 1991 to 1993 in the position of the director of the Department of Mineral Resources at the Ministry of Economy of the Slovak Republic in Bratislava and from 1993 to 1994 in the position of

podárstva SR v Bratislave a v období 1993 až 1994 ako generálny riaditeľ Prefabetón a.s. Koš. V roku 1995 sa vrátil na Banské stavby, kde pracoval ako vedúci odboru marketingu, neskôr ako vedúci kancelárie a poradca generálneho riaditeľa.

Okrem vyššie uvedených aktivít bol Ing. Jozef Frankovský aktívny aj publikačne, najmä v časopisoch Inžinierske stavby, Tunel, Rudy a uhlí a tiež v zborníkoch z rôznych odborných podujatí. Za vrchol publikačnej aktivity možno považovať jeho knihu *Popod hory a doliny*, vydanú pri príležitosti polstoročnice podniku Banské stavby Prievidza v roku 2001. V období 1995–2000 bol členom redakčnej rady časopisu Tunel, pričom v nasledujúcom období až do roku 2021 pôsobil ako odborný redaktor, zabezpečujúci jazykové a odborné korektúry príspevkov v slovenskom jazyku.

Je príjemné vedieť, že aj v dnešnej uponáhľanej dobe je stále niekto, kto sa vyzná v krásach slovenčiny a v klude si prečíta a uhladí váš text. Pre mňa zostane vždy zážitkom aj sprievodný mail, ktorý pripomína krásu práce so slovom.

Chceli by sme Jozefovi Frankovskému popriať v mene širokej tunelárskej verejnosti do ďalších rokov to najlepšie, najmä veľa zdravia a potešenia zo stretávania sa s najbližšími, najmä s tromi generáciami potomkov.

Za Výbor Slovenskej tunelárskej asociácie a redakčnú radu

Ing. VIKTÓRIA CHOMOVÁ

ING. PETR VOZARIK OSMDESÁTNÍKEM ING. PETR VOZARIK OCTOGENARIAN

Ing. Petr Vozarik se narodil 16. dubna 1942 na Uherskobrodsku. Po dokončení střední školy odešel studovat obor Výstavba dolů na Vysoké škole báňské v Ostravě. Po studiu nastoupil k podniku VKD Kladno, kde se jako stavbyvedoucí podílel na výstavbě přivaděče pitné vody ze Želivky do Prahy. Při tomto zaměstnání si doplnil vzdělání mimořádným studiem geotechniky na ČVUT v Praze



a dále v oblasti trhacích prací na VŠCHT v Pardubicích. Ve VKD Kladno se také poprvé setkal s výstavbou pražského metra.

Když v roce 1975 nastoupil do Metrostavu, stalo se metro na dlouhé roky jeho hlavní pracovní náplní. Pracoval na přípravě a výstavbě úseků I.A, I.B, II.B a IV.B. V roce 1990 se stal vedoucím odboru předvýrobní přípravy Metrostav a.s., a následně ředitelem divize Consult, která sdružovala specialisty pro výstavbu tras metra a dalších podzemních staveb. Od metra se v devadesátých letech dostal i k silničním stavbám a později se, jako člen skupiny odborného dohledu, zúčastnil výstavby tunelového komplexu Blanka.

Kromě práce v Metrostavu velmi aktivně působil i v České tunelářské asociaci (dříve komitétu), byl členem přípravných výborů několika ročníků mezinárodní konference Podzemní stavby Praha a významně se podílel i na přípravě Světového tunelářského kongresu v Praze jak v roce 1985, tak v roce 2007. V letech 1993–2009 se jako předseda redakční rady časopisu Tunel podílel na jeho přeměně do dnešní kvalitní, uznávané a dvojjazyčné podoby.

the general director of Prefabetón Koš, a.s. In 1995 he returned to Banské Stavby, where he worked in the position of the head of the department of marketing, later in the position of the head of the office of the general director and his adviser.

In addition to the above activities, Ing. Jozef Frankovský was also active in publishing, especially in the magazines Inžinierske stavby, Tunel, Rudy a uhlí and also in proceedings from various professional events. His book *Popod hory a doliny*, published on the occasion of the half-century of the company of Banské Stavby Prievidza in 2001, can be considered the top of his publishing activity. In the period 1995–2000 he was a member of the editorial board of TUNEL journal, while in the following period until 2021 he was active in a position of a professional editor, providing language and technical proofreading of papers in the Slovak language.

It is nice to know that even in today's hectic time, there is still someone who knows a lot about the beauties of Slovak language and reads and polishes your text in peace and quiet. An accompanying e-mail in which he reminds the joy of working with words will always remain a great experience for me.

On behalf of the wide tunnelling public, we would like to wish Jozef Frankovský the best in the years to come, especially good health and the pleasure of meeting his loved ones, especially three generations of his descendants.

On behalf of the Slovak Tunnelling Association and the Editorial Board

Ing. VIKTÓRIA CHOMOVÁ

Ing. Petr Vozarik was born in the region of Český Brod on 16 April 1942. After finishing high school, he went to study at the Department of Mining Construction at the University of Mining in Ostrava. After graduating, he joined VKD Kladno (a coal-mining company), where in the position of a construction manager he participated in the construction of a drinking water supply tunnel from Želivka to Prague. During this job, he completed his education with an extraordinary study of geotechnics at the Czech Technical University in Prague and in the field of blasting at the Faculty of Chemical Technology of the University of Pardubice. In VKD Kladno, he also encountered for the first time the construction of the Prague metro.

After he joined Metrostav in 1975, the metro became his main job content for many years. He worked on the preparation and construction of metro sections I.A, I.B, II.B and IV.B. In 1990, he became the head of the Construction Pre-planning Department of Metrostav a.s., and subsequently the director of the Consult division, which brought together specialists in the construction of metro lines and other underground structures. In the 1990s, he also got from the metro to road construction and later, as a member of an expert supervision team, took part in the construction of the Blanka complex of tunnels.

In addition to working with Metrostav, he also worked very actively in the Czech Tunnelling Association (formerly a Committee), was a member of steering committees of several international conferences Underground Construction Prague and significantly participated in the preparations for the World Tunnel Congress in Prague, both in 1985 and 2007. In 1993–2009, in the position of the chairman of the editorial board of the TUNEL journal, he participated in its transformation into today's high-quality, recognised bilingual form of the journal.

S panem inženýrem jsme se bohužel pracovně nikdy nesetkali, ale všichni jeho kolegové se shodují v tom, že byl vždy tmelem kolektivu a zároveň i tím, kdo vytvářel dobrou náladu jak na pracovišti, tak na společenských a odborných akcích. I přes svůj věk je dodnes aktivním sportovcem, podle vlastních slov byl letos asi desetkrát na lyžích, stále aktivně působí v ochotnickém souboru a se zájmem sleduje dění v tunelářském oboru.

Jménem redakční rady časopisu Tunel bych chtěl Ing. Vozarikovi k jeho letošním významným narozeninám popřát všechno nejlepší, pevné zdraví a ať ho neopouští jeho stále dobrá nálada.

Ing. JIŘÍ ŠACH, Metrostav a.s.

Unfortunately, we have never met engineer Vozarik at work, but all his colleagues agree that he has always been a binding element of the team and at the same time the one who created a good atmosphere both in the workplace and at social and professional events. Despite his age, he is still an active sportsman, according to his own words he has been skiing in mountains about ten times this year, he is still active in the amateur theatre group and is following the events in the tunnelling industry with interest.

On behalf of the editorial board of the TUNEL journal, I would like to wish Ing. Vozarik all the very best, good health, and let his still good mood not leave him.

Ing. JIŘÍ ŠACH, Metrostav a.s.

ROZLOUČENÍ LAST FAREWELL

VZPOMÍNÁME A DĚKUJEME! WE REMEMBER AND THANK YOU!

Smutná zpráva zasáhla naše kolegy i přátele: dne 5. 4. 2022 nás ve věku 78 nedožitéch let navždy opustil bývalý tiskový mluvčí naší společnosti, pan Ing. František Polák.

Nositel titulu Osobnost Metrostavu, jenž v naší firmě působil 22 let, získal sympatie nejen nás, kolegů, ale i veřejnosti. V tisku i před televizními kamerami vystupoval vždy profesionálně, trpělivě zodpovídal dotazy všech novinářů a uměl postoj Metrostavu i svůj pokaždé obhájit. Nikdy se nechoval arogantně a mnohdy přispěl svým jednáním k uklidnění leckdy vyhrocené atmosféry, někdy s humorem jemu vlastním. Dokázal zaujmout vysokoškoláka i prostého člověka.

František Polák absolvoval Střední lesnickou technickou školu v Písku a následně Fakultu stavební ČVUT v Praze. V praxi postupně zastával pozice přípravaře, hlavního inženýra a technického náměstka investora dopravních staveb. Působil i ve veřejném životě jako zastupitel a jako náměstek pražského primátora. V té době byl i členem představenstva naší společnosti.

Do Metrostavu nastoupil koncem roku 1993, nejprve jako vedoucí útvaru u obchodního ředitele, tiskovým mluvčím se stal v roce 2000. Pozice tiskového mluvčího u naší společnosti je velmi důležitá a zároveň velmi náročná práce a František Polák v ní bravurně obstál. Mnozí si jistě vybaví jeho mediální výstupy z období stavby tunelového komplexu Blanka a také angažovanost v informačním centru na Letné, kde trpělivě vysvětloval a argumentoval problematiku této složité stavby. V souvislosti s komunikací ohledně Blanky se stal vítězem soutěže Mluvčí roku 2013 České republiky. Dlouhodobě také zastával funkci předsedy redakční rady čtrnáctideníku Metrostav, kde pomáhal vytvářet jeho obsah.

Koncem roku 2015 odešel do zasloužené penze. Poslední rozloučení s Ing. Františkem Polákem proběhlo 12. 4. 2022 za účasti i mnoha bývalých kolegů a přátel.



*Metrostav a.s.
RED, foto archiv Metrostavu*

The sad news hit our colleagues and friends: on April 5, 2022, at the age of unreachd 78, the former spokesperson of our company, Metrostav, abandoned us forever.

The holder of the Metrostav Personality title, who worked in our company for 22 years, won the sympathy not only of us, his colleagues, but also of the public. He always acted professionally in front of television cameras, answered questions from all journalists patiently and was able to defend Metrostav's position every time. He never behaved arrogantly and often contributed by his actions to calm the sometimes heated atmosphere, sometimes with humour of his own. He was able to attract a university student as well as a common person.

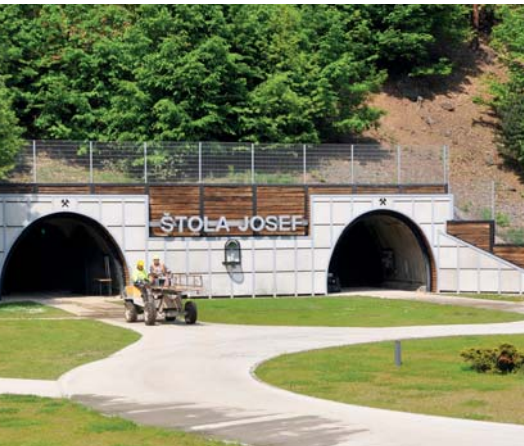
František Polák graduated from the Secondary Forestry Technical School in Písek and subsequently from the Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University in Prague. In practice, he gradually held the positions of production planner, chief engineer and technical deputy of a developer of transport construction projects. He was also active in public life as a member of the Prague City Council and a deputy mayor of Prague. At that time he was also a member of the board of directors of our company.

He joined Metrostav at the end of 1993, first as the head of a department headed by the sales director; he became the spokesperson in 2000. The position of a spokesperson for our company is a very important and at the same time very demanding job, and František Polák managed it brilliantly. Many will remember his media appearances from the period of the construction of the Blanka complex of tunnels, as well as his involvement in the information centre in Letná, where he patiently explained and argued the issues of this complicated project to the citizens. In connection with the communication about the Blanka, he became the winner of the competition Spokesperson of the Year 2013 of the Czech Republic. For a long time, he also held the position of chairman of the editorial board of the Metrostav fortnightly bulletin, where he helped create its content.

At the end of 2015, he started to enjoy well-deserved retirement. The last farewell to Ing. František Polák took place on 12 April 2022 in presence of many former colleagues and friends.

*Metrostav a.s.
RED, photo Metrostav's archive*

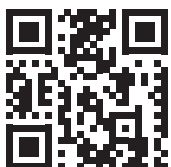
TRADICE – KVALITA – PERSPEKTIVA



**JISTOTA
KVALITNÍHO
UPLATNĚNÍ
V OBORU**



**ZDE STUDUJÍ BUDOUCÍ STAVEBNÍ INŽENÝŘI,
ARCHITEKTI A GEODETI**



FSV.CVUT.CZ



**FAKULTA
STAVEBNÍ
ČVUT V PRAZE**



Je na čem stavět

Náš úspěch stojí na odbornosti, nasazení a dovednostech stovek lidí různých profesí. Na jejich solidnosti, spolehlivosti a loajalitě. Na odvaze inovovat a schopnosti využívat nové technologie. Máme na čem stavět.

www.metrostav.cz



METROSTAV