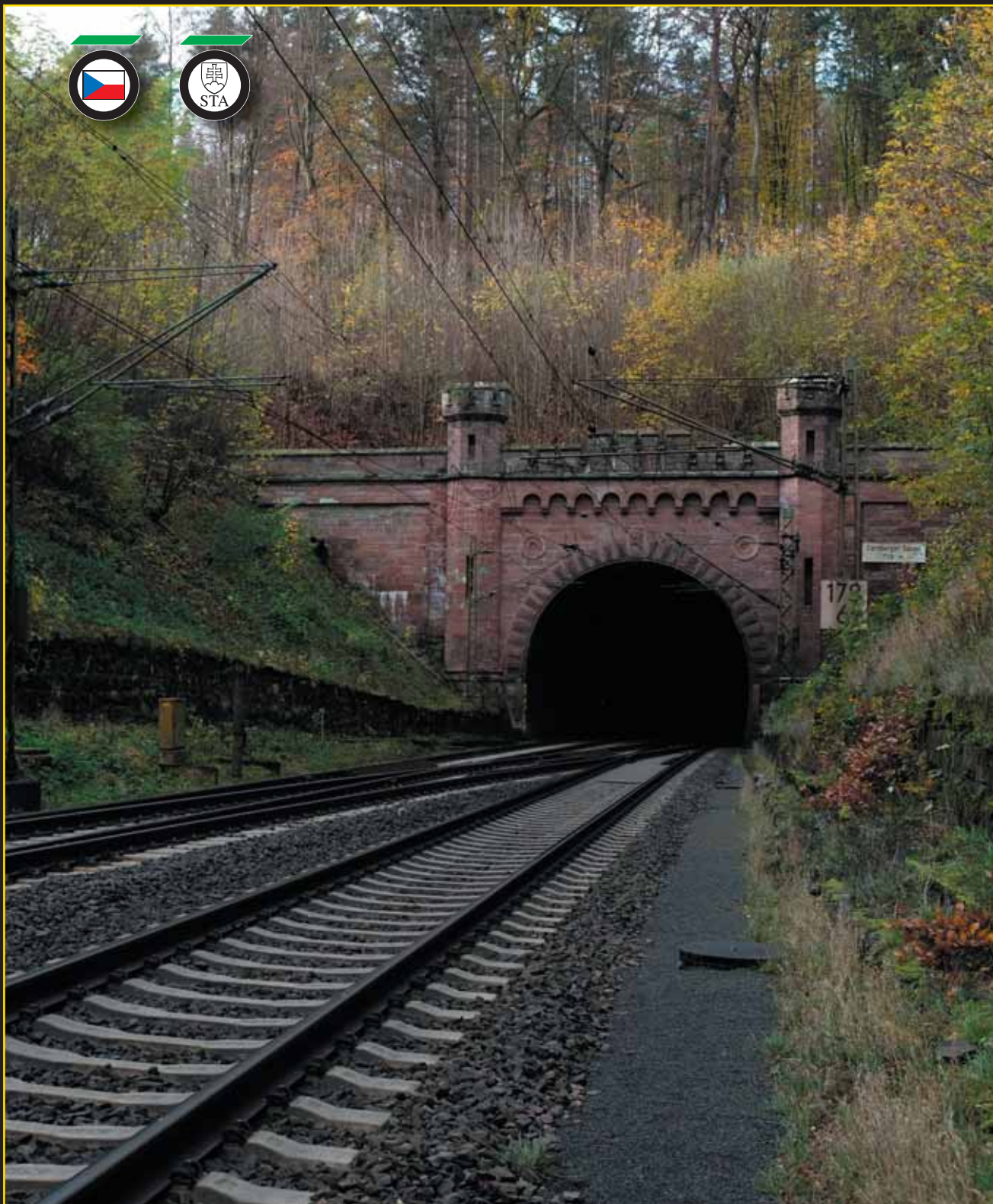


# Tuňel

č. 4  
2023

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







Pisárecký tunel, stavba roku 1998



Tunel Klimkovic, stavba roku Moravskoslezského kraje 2008

# 30 LET

# AMBERG Engineering Brno, a.s.



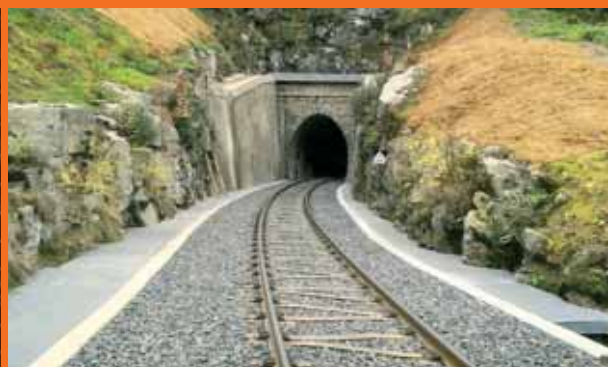
Královopolský tunel, stavba roku 2013



Rekonstrukce Domašovského tunelu, rok 2013



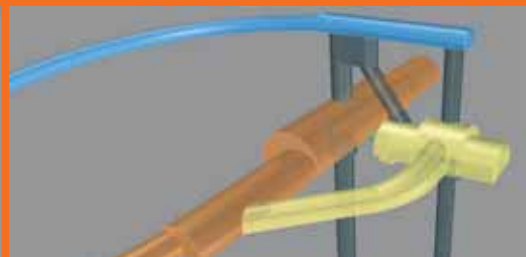
Odvodňovací štola VD Šance, stavba roku 2014 (ČKAIT)



Rekonstrukce Harrachovského tunelu, stavba roku 2015 (ČKAIT)



Brenner Basistunnel, Rakousko, Itálie



Přístupový tunel a kaverny, šachta Göstritz, Semmering Basistunnel, Rakousko

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

## OBSAH

<b>Editorial:</b>	
Ing. Boris Šebesta, předseda redakční rady	1
<b>Úvodníky:</b>	
Ing. Vlastimil Horák, předseda představenstva AMBERG Engineering Brno, a.s.	2
Mgr. Lucie Bohátková, členka představenstva a obchodní ředitelka SG Geotechnika a.s.	3
<b>Rekonstrukce Děčínského a Loubského tunelu</b>	
Ing. Jaroslav Lacina, Ing. Lenka Kočí, Ing. Lumír Kliš, AMBERG Engineering Brno, a.s.	4
<b>Tunel Anneberg – Skanstull</b>	
Ing. Jiří Umlauf, AMBERG Engineering Brno, a.s., Ing. Jan Veselý, Ph.D., AMBERG Engineering AG	15
<b>Průzkumné práce v trase projektovaného tunelu Dětrichov</b>	
Mgr. Petr Mazáč, Mgr. Pavel Klíma, Mgr. Petra Jakobová, Ph.D., SG Geotechnika a.s.	22
<b>Inženýrskogeologické podmínky výstavby nové trasy metra LD v úseku mezi stanicemi Pankrác a Olbrachtova</b>	
Mgr. Jiří Tlamsa, Jan Zemánek, SG Geotechnika a.s.	33
<b>Zajišťování historického dolu Jeroným z pohledu geotechnika</b>	
Ing. Martin Šefrna, SG Geotechnika a.s.	39
<b>Fotoreportáž ze slavnostního otevření rýchlостnej cesty R4 Prešov, severný obchvat, I. etapa, s tunelom Bikoš dňa 25. septembra 2023</b>	50
<b>Fotoreportáž z výstavby tunelu Pohúrka</b>	51
<b>Ze světa podzemních staveb</b>	53
<b>Zprávy z tunelářských konferencí</b>	57
<b>Aktuality z podzemních staveb v České a Slovenské republice</b>	62
<b>Z historie podzemních staveb</b>	64
<b>Výročí</b>	69
<b>Rozloučení</b>	69
<b>Zpravodajství České a Slovenské tunelářské asociace ITA-AITES</b>	71

## REDAKČNÍ RADA / EDITORIAL BOARD

## Čeští a slovenští členové / Czech and Slovak members

**Předseda / Chairman:** Ing. Boris Šebesta  
**Místopředseda / Vice-Chairman:** Ing. Jan Frantl – Subterra a.s.  
prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. – Stavební fakulta ČVUT v Praze  
Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D. – GEOTest, a.s.  
Ing. Miloslav Frankovský – STA  
prof. Ing. Matouš Hilar, MSc., Ph.D., CEng., MICE – 3G Consulting Engineers s.r.o.  
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc. – Fakulta stavební VUT v Brně  
Ing. Vlastimil Horák – Amberg Engineering Brno, a.s.  
doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D. – VŠB-TU Ostrava  
Ing. Petr Hybský – Metrostav a.s.  
RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D. – PUDIS a.s.  
Ing. Viktória Chomová – STA  
Ing. Otakar Krásný – GeoTec-GS, a.s.  
Ing. Ján Kušník – 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

## 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 redaktory: prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., doc. Ing. Dr. Jan Pruška,  
Ing. Pavel Šourek, RNDr., Radovan Chmelař, Ph.D.,  
Ing. Miloslav Frankovský  
Grafické zpracování: Ing. Jiří Šilar DTP, Dačického 1225/8, 140 00 Praha 4  
Tisk: SERIFA, s.r.o., Jionická 804/80, 158 00 Praha 5  
Foto na obálce: Východní portál stávajícího tunelu Cornberger  
(foto archiv společnosti Amberg Engineering AG)

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

<b>Editorials:</b>	
Ing. Boris Šebesta, Chairman of Editorial Board	1
Ing. Vlastimil Horák, Chairman of the Board of Directors of AMBERG Engineering Brno, a.s.	2
Mgr. Lucie Bohátková, Member of the Board of Directors and Commercial Director SG Geotechnika a.s.	3
<b>Reconstruction of the Děčínský and Loubský Tunnels</b>	
Ing. Jaroslav Lacina, Ing. Lenka Kočí, Ing. Lumír Kliš, AMBERG Engineering Brno, a.s.	4
<b>Anneberg–Skanstull Tunnel</b>	
Ing. Jiří Umlauf, AMBERG Engineering Brno, a.s., Ing. Jan Veselý, Ph.D., AMBERG Engineering AG	15
<b>Exploratory Operations along the Dětrichov Tunnel Route under Design</b>	
Mgr. Petr Mazáč, Mgr. Pavel Klíma, Mgr. Petra Jakobová, Ph.D., SG Geotechnika a.s.	22
<b>Engineering and Geological Conditions for the Construction of the New Metro Line LD in the Section between Pankrác and Olbrachtova Stations</b>	
Mgr. Jiří Tlamsa, Jan Zemánek, SG Geotechnika a.s.	33
<b>Remediation of the Historical Jeroným Mine from Geotechnical Point of View</b>	
Ing. Martin Šefrna, SG Geotechnika a.s.	39
<b>Picture Report From the Opening Ceremony of the Fast Highway R4 Prešov, Northern Bypass, Stage I, with the Bikoš Tunnel on 25 September 2023</b>	50
<b>Picture Report from Pohúrka Tunnel Construction</b>	51
<b>The World of Underground Constructions</b>	53
<b>News from Tunnelling Conferences</b>	57
<b>Current News from the Czech and Slovak Underground Constructions</b>	62
<b>From the History of Underground Constructions</b>	64
<b>Anniversaries</b>	69
<b>Last Farewell</b>	69
<b>Czech and Slovak Tunneling Association ITA-AITES Report</b>	71

Ing. Pavel Růžička, Ph.D. – HOCHTIEF CZ a. s.  
Ing. Michal Šerák – Inženýring dopravních staveb a.s.  
Ing. Pavel Šourek – SATRA, spol. s r.o.  
Ing. Václav Veselý – SG Geotechnika a.s.  
Ing. Jaromír Zlámal – POHL cz, a.s.  
CzTA ITA-AITES: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.

## Zahraníční členové / International members

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

## PUBLISHED FOR SERVICE USE

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

## DISTRIBUTION

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

## OFFICE

Koželužská 2450/4, 180 00 Praha 8 – Libeň, phone: +420 702 062 610  
e-mail: pruskova@ita-aites.cz  
web: http://www.ita-aites.cz  
Editor-in-chief: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.  
Technical editors: prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., doc. Dr. Ing. Jan Pruška,  
Ing. Pavel Šourek, RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D.,  
Ing. Miloslav Frankovský  
Graphic designs: Ing. Jiří Šilar DTP, Dačického 1225/8, 140 00 Praha 4  
Printed: SERIFA, s.r.o., Jionická 804/80, 158 00 Praha 5  
Cover photo: East portal of the existing Cornberger tunnel  
(photo archive of Amberg Engineering AG)

# 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 Roztoky

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

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

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

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

ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR  
Čerčanská 12  
140 00 Praha 4

SAGAŠTA 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

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

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

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

Doprastav, a.s.  
Drieňová 27  
826 56 Bratislava

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

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

GEOCONSULT, spol. s r.o.  
Ružinovská 42  
821 03 Bratislava

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

GEOstatik a.s.  
Kragujevská 11  
010 01 Žilina

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

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

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

K-TEN Turzovka s.r.o.  
Vysoká nad 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.c., s.r.o.  
Madáchova 33  
821 06 Bratislava

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

TUBAU, a.s.  
Príbylinská 12  
831 04 Bratislava

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

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

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

Ústav geotechniky SAV  
Watsonova 45  
043 53 Košice

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

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

Železnice SR  
Klemensova 8  
813 61 Bratislava

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



## Vážené čtenářky a čtenáři,

úvodem mi dovolu, abych své průvodní slovo zahájil citátem Alberta Einsteina, který říká, že „Čas je jen iluze.“ Tato citace mi poslouží jako oslí můstek a umožní krátce se ohlédnout zpět za dosavadní historii časopisu Tunel. Ne, nejde o žádnou oslavu jeho kulatého výročí, to jen právě letos a zcela standardně prochází již 32. rokem svého novodobého života, a i tato skutečnost má svoji vypovídající hodnotu, zejména díky velké míře kvality a stability našeho časopisu. Původ a základ svých jistot nachází v pečlivé a systematické práci všech dosavadních redakčních rad, kam totiž vzpomínky pamětníků sahají, jejich složení bylo vždy dělné, odborné, ale hlavně ve svém základě velmi přátelské, což našemu časopisu umožňovalo a umožňuje úspěšně žít a prosperovat.

I naše současná redakční rada se snaží tuto tradici udržovat, a tím i dále prodlužovat a zkvalitňovat životní dráhu časopisu. Příkladem mohou být i nově upravená pravidla pro vznik a průchod publikovaných článků redakční radou, kde zejména ztotožnění pozice recenzenta a garanta do jedné osoby a posílení týmu o obsahového korektora, se zdá, že již přináší své ovoce.

Při Einsteinově relativitě času víme, že se také již v roce 2024 bude volit a sestavovat nová redakční rada pro novou časovou periodu, takže i jí při této příležitosti popřejme neméně úspěšný životní cyklus s časopisem Tunel.

Samotný obsah našeho aktuálního čísla je věnován společnostem AMBERG Engineering Brno a SG Geotechnika, které ve své odbornosti jistě náleží k tomu nejlepšímu, co naše česká kotlina nabízí. Důkazem toho jsou i oběma společnostmi prezentované obsahové zajímavé články. Společnost AMBERG vsadila na témata jako jsou rekonstrukce železničních tunelů v Čechách a novostavby kabelového tunelu ve Skandinávii, obojí zejména z pohledu projektanta. Společnost Geotechnika potom zvolila témata jako jsou popis průzkumných prací na dálničním tunelu Dětrichov, popis inženýrskogeologických podmínek při ražbě trasy metra D v mezistaničním úseku Pankrác–Olbrachtova či popis prací při zajišťování historického cínového dolu Jeroným ve Slavkovském lese.

Číslo, které právě držíte ve svých rukách, je posledním letošního roku, vychází v měsíci, kdy nás čeká i několika významných a populárních svátků. První je samozřejmě svatá Barborka, patronka všech a všeho dobrého v podzemí, následuje oblíbený Mikuláš a vše uzavírají vánoční svátky s neopakovatelným Štědrým dnem a tradičním Silvestrem.

Vážení čtenáři, dovolu mi závěrem popřát Vám ke všem jmenovaným svátkům všechno nejlepší, samou radost, snad i kapku toho úspěchu, a když to jen trochu půjde, tak i přízeň a sounáležitost s našim časopisem Tunel.

**Ing. BORIS ŠEBESTA,**  
*předseda redakční rady*

## Dear readers,

let me begin my introduction with a quote from Albert Einstein, who says that “Time is just an illusion”. This quote will serve as a donkey’s bridge and will allow me to briefly look back at the history of the Tunel magazine so far. No, it is not a celebration of its round anniversary, it is just this year and quite normally that it is going through the 32<sup>nd</sup> year of its modern life, and even this fact has its informative value, especially thanks to the high level of quality and stability of our journal. It finds the origin and basis of its certainty in the careful and systematic work of all previous editorial boards, as far as where the memories of the witnesses go, their composition has always been labourable, professional, but above all very friendly in its basis, which has enabled our journal to live and prosper successfully.

Our current editorial board is also trying to maintain this tradition and thus further extend and improve the life of the journal. An example of this can be the newly modified rules for the creation and passage of published articles through the editorial board, where in particular merging the position of the reviewer and guarantor into one person and at the same time or, on the contrary, strengthening the person of the language proofreader by the person of the content proofreader, seems to be already bearing fruit.

Given Einstein’s relativity of time, we know that a new editorial board for a new period of time will also be elected and assembled in 2024, so let’s take this opportunity to wish it an equally successful life cycle with the Tunel journal.

The content of our current issue is dedicated to the companies of AMBERG Engineering Brno and SG Geotechnika, which certainly are among the best that our Czech conditions have to offer in terms of their expertise. This is also evidenced by the interesting articles presented by both companies. AMBERG Engineering has focused on topics such as the reconstruction of railway tunnels in the Czech Republic and a new cable tunnel construction in Scandinavia, namely from the designer’s point of view. The Geotechnika company then chose topics such as the description of the exploratory work on the Dětrichov motorway tunnel, the description of the engineering-geological conditions during the excavation of the metro line D tunnels between the Pankrác–Olbrachtova stations and the description of the work on securing the historic Jeroným tin mine in the Slavkov Forest.

The journal issue you are currently holding in your hands is the last of this year, it is published in a month when we are also facing several important and popular holidays. The first is, of course, St. Barbara, the patron saint of all people and everything good underground, followed by the popular St. Nicholas, and everything closes with the Christmas holidays with the unforgettable Christmas Eve and the traditional New Year’s Eve.

Dear readers, let me conclude by wishing you all the best on all the above-mentioned holidays, all joy, perhaps even a drop of success, and if at all possible, also favour and friendly relationships with our Tunel journal.

**Ing. BORIS ŠEBESTA,**  
*Chairman of the Editorial Board*



**VÁŽENÍ ČTENÁŘI!**

Společnost AMBERG Engineering Brno, a.s., se může v letošním roce zařadit mezi firmy, které za sebou mají již třicet let úspěšného působení na trhu projektování tunelů a podzemních staveb. Stejně výročí slavím i já osobně jako jeden z prvních zaměstnanců. Dovolím si pouze krátce zmínit historii vzniku firmy.

Akciová společnost AMBERG Engineering Brno, a.s., byla založena v září 1993 jako první zahraniční filiálka švýcarské společnosti AMBERG ENGINEERING AG (původně AMBERG INGENIEURBÜRO AG) a stala se tak součástí skupiny firem AMBERG Group AG. Ta dnes vlastní skupinu projekčních a inženýrských kanceláří AMBERG ENGINEERING, AMBERG LOGLAY AG, AMBERG TECHNOLOGIES AG a Versuchsstollen Hagerbach AG. Z toho zmíněná AMBERG ENGINEERING představuje několik samostatných filiálek a kanceláří v různých zemích světa (Švýcarsko, Rakousko, Německo, Francie, Česko, Slovensko, Španělsko, Norsko a Indie). Celosvětově zaměstnává AMBERG Group přes 400 lidí. Součástí naší brněnské kanceláře je rovněž softwarové oddělení, které se zabývá výhradně vývojem software pro měření v podzemí. Většinu čtenářů nemusím představovat Amberg Rail, Amberg Tunnel, Tunnel Seismic Prediction (TSP), TunnelMap a další SW, kteréžto byly vyvinuty a odzkoušeny právě v Brně.

Dovolím si zmínit i jednu zajímavost, proč byla první zahraniční filiálka založena právě v České republice. Dr. Rudolf Amberg (+1995), otec dnešního majitele AMBERG Group pana Felixe Amberga a zakladatel švýcarské společnosti AMBERG INGENIEURBÜRO AG, měl totiž nesmírně rád české pivo. Netroufám si tvrdit, že to byl hlavní důvod pro založení zahraniční filiálky v České republice, ale jeden z důvodů určitě.

Ale zpět k brněnské kanceláři. Jádrem každé inženýrské kanceláře a tzv. rodinným stříbrem, o které je nutné obzvlášť pečovat, jsou jednoznačně erudovaní zaměstnanci. Za dobu naší existence se u nás vystřídalo na pozicích projektantů celkem 61 inženýrů, v drtivé většině absolventů brněnské stavební fakulty. Aktuální počet zaměstnanců přesahuje číslo padesát. Vzhledem k naší poměrně úzké specializaci na tunely a podzemní stavby představuje AMBERG Engineering Brno, a.s., s dvaceti projektanty tuneláři jednu z nejvyšších koncentrací tunelářů v jedné projekční kanceláři v České i Slovenské republice. Takové množství se samozřejmě nemůže uživit na našem malém českém trhu, takže významnou část našich zakázek představují zahraniční projekty. Lze jmenovat Brennerský bazový tunel, bazový tunel Semmering a další významné tunely ve Švédsku a Německu.

Po celou dobu působení na trhu cíleně budujeme svoje renomé v oblasti sanací tunelů a dalších podzemních liniových staveb. První vlašťovkou byl návrh rekonstrukce železničního tunelu Novohradského, tedy tunelu číslo 8/1 na trati Brno–Blansko, a to již v letech 1994 až 1995. Tehdy nerealizovaná sanace dle našeho projektu proběhla až v roce 2022. Celkem bylo u AMBERG Engineering Brno, a.s., k dnešnímu dni vyprojektováno a následně realizováno 25 sanací a rekonstrukcí železničních tunelů v rámci České republiky a více jak deset sanací tunelů v zahraničí (převážně železniční tunely ve Švýcarsku a Německu). V oblasti sanací primární kolektorové sítě v Brně jsme se stali prakticky dvorním projektantem sanací šachet a chodeb, kdy většina projektů vznikla právě v naší kanceláři.

Bohužel si musím opět, jako před pěti lety, kdy jsem psal úvodník u příležitosti našeho 25. výročí, postěžovat, že trend úbytku nových inženýrů projektantů v našem oboru se nezastavil, ale naopak ještě zrychlil. Když vidím počty absolventů technických škol v posledních letech, zejména stavebních fakult a především geotechniky, je mi docela smutno.

Závěrem bych chtěl vyslovit poděkování všem současným i bývalým zaměstnancům naší společnosti a rovněž kolegům z ostatních filiálek AMBERG Group, bez nichž bychom dnes nebyli tam, kde jsme, a tím, kdo jsme. A současně si přát, aby další působení firmy AMBERG Engineering Brno, a.s., bylo nejméně tak úspěšné, jako těch třicet let uplynulých.

Zdař Bůh.

**DEAR READERS,**

This year, AMBERG Engineering Brno, a.s., can be ranked among companies that have already had behind thirty years of successful operation in the market of tunnel and underground construction. I personally celebrate the same anniversary as one of the first employees. Let me just briefly mention the history of the company's origins.

AMBERG Engineering Brno, a.s., was founded in September 1993 as the first foreign subsidiary of the Swiss company AMBERG ENGINEERING AG (formerly AMBERG INGENIEURBÜRO AG) and thus became part of the AMBERG Group AG. Today, the company owns the group of design and engineering offices AMBERG ENGINEERING, AMBERG LOGLAY AG, AMBERG TECHNOLOGIES AG and Versuchsstollen Hagerbach AG. Of these, the above mentioned AMBERG ENGINEERING represents several independent branches and offices in various countries of the world (Switzerland, Austria, Germany, France, Czech Republic, Slovakia, Spain, Norway and India). The AMBERG Group employs more than 400 people worldwide. Our Brno office also includes a software department, which deals exclusively with the development of software for measurements in the underground. I don't need to introduce Amberg Rail, Amberg Tunnel, Tunnel Seismic Prediction (TSP), TunnelMap and other SW that have been developed and tested in Brno.

I would also like to mention one interesting fact why the first foreign branch was established in the Czech Republic. Dr. Rudolf Amberg (+1995), the father of the current owner of the AMBERG Group, Mr. Felix Amberg, and the founder of the Swiss company AMBERG INGENIEURBÜRO AG, was extremely fond of Czech beer. I don't dare to say that this was the main reason for establishing a foreign branch in the Czech Republic, but it was certainly one of the reasons.

But back to the Brno office. The core of every engineering office and the so-called family silver, which must be taken care of, are clearly knowledgeable employees. Over the course of our existence, a total of 61 engineers have held the positions of designers, the vast majority of whom are graduates of the Faculty of Civil Engineering in Brno. The current number of employees exceeds fifty. With respect to our relatively narrow specialisation in tunnels and underground construction projects, AMBERG Engineering Brno, a.s., with twenty tunnellers, represents one of the highest concentrations of tunnellers in one design office in the Czech and Slovak Republics. Of course, such a large number cannot make a living on our small Czech market, so a significant part of our orders are foreign projects. It is possible to name the Brenner Base Tunnel, the Semmering Base Tunnel and other important tunnels in Sweden and Germany.

Throughout the time of our activity on the market, we have been purposefully building our reputation in the field of tunnel rehabilitation and other underground line constructions. The first swallow was the proposal for the reconstruction of the Novohradský railway tunnel, i.e. tunnel No. 8/1 on the Brno–Blansko line, in 1994 and 1995. The rehabilitation according to our design, which was not implemented at that time, did not take place until 2022. To date, AMBERG Engineering Brno, a.s. has designed and subsequently implemented 25 rehabilitation and reconstruction designs for railway tunnels in the Czech Republic and more than ten tunnel rehabilitation designs abroad (mainly railway tunnels in Switzerland and Germany). In the field of rehabilitation of the primary utility tunnels network in Brno, we have practically become the main designer of the rehabilitation of shafts and corridors, where most of the designs originated in our office.

Unfortunately, I have to complain again, as I did five years ago, when I wrote an editorial on the occasion of our 25<sup>th</sup> anniversary, that the trend of the diminishing of the number of new engineers and designers in our field has not stopped, but has accelerated. When I see the number of graduates of technical schools in recent years, especially at the faculties of civil engineering and especially at geotechnics, I feel quite sad.

To conclude, I would like to express my thanks to all current and former employees of our company, as well as colleagues from other branches of the AMBERG Group, without whom we would not be where we are today and who we are. At the same time, we wish that the further activities of AMBERG Engineering Brno, a.s. will be at least as successful as during the past thirty years.

God speed you.

**Ing. VLASTIMIL HORÁK,**

**předseda představenstva AMBERG Engineering Brno, a.s.  
Chairman of the Board of Directors of AMBERG Engineering Brno, a.s.**



## VÁŽENÉ KOLEGYNĚ A KOLEGOVÉ, ČTENÁŘI ČASOPISU TUNEL,

sešel se rok s rokem a mám tu čest či příležitost napsat další Úvodník za naši společnost SG Geotechnika a.s., do námi oblíbeného časopisu Tunel.

V minulém roce jsem věnovala Úvodník výčtu běžících a připravovaných podzemních staveb na území České republiky. Když si jej dnes přečtu, je mi trochu smutno. Ano, povedlo se rozběhnout výstavbu metra I.D v Praze v úseku stanic Pankrác–Olbrachtova a my tomu úseku a jeho inženýrskogeologickým poměrům věnujeme jeden článek v tomto čísle časopisu. Bohužel se však nepovedlo rozběhnout úsek následující ze stanice Olbrachtova do stanice Nové Dvory, kde zahájení jeho výstavby bylo plánováno na léto 2023. Projekt se dostal, ostatně tak jako i soutěž na provedení komplexního geotechnického monitoringu a pasportizace pro tento úsek, na Úřad pro hospodářskou soutěž a jeho výstavba a monitoring tak pravděpodobně do konce roku 2023 nebude zahájena.

Podobně skončil i další významný projekt, a to inženýrskogeologický průzkum na území České republiky pro tunel Krušnohorský, což je přeshraniční projekt na trase Nového železničního spojení z Drážďan do Prahy v úseku Heidenau – Ústí nad Labem. I zde byla veřejná soutěž na provedení vrtných prací a zkoušek poslána k Úřadu pro hospodářskou soutěž.

Dalším případem posunu realizace je i budoucí zatím nejdelší silniční tunel Děřichov s délkou 3 983 m na D35 na úseku z Opatovce do Starého Města. Pro něj dělala naše společnost podrobný a doplňkový inženýrskogeologický průzkum. Tunel by se měl stavět formou PPP projektu, ale příprava a běh soutěže touto formou je zdoluhavý proces, takže je možné, že se tunel nezačne stavět ani v roce 2024.

Aby vše nevyznělo jen negativně, tak jsem potěšena, že se naše Sdružení podařilo uspět a získat zakázku na podrobný geotechnický průzkum pro novostavbu trati Praha–Smíchov–Beroun. Terénní práce na průzkumu budou zahájeny v listopadu 2023 a bude se jednat o velice náročnou činnost s vrty hlubokými až 160 m. Na tuto práci se těšíme nejen jako geologové, ale i tuneláři a přejeme si, aby projekt tohoto téměř 25 km dlouhého tunelu byl doveden až do realizace. Pokud se nám práce bude dařit, můžete na téma geotechnických podmínek tohoto budoucího tunelu v geologicky pestrém a atraktivním prostředí jádra Barrandienu a Českého krasu očekávat článek v některém z dalších čísel tohoto časopisu, a to v roce 2024 či zkraje roku 2025.

Nevím, jestli je optimismus na místě, ale ze strany ministerstva dopravy dostáváme ujištění, že peníze na přípravu složitých infrastrukturních staveb budou. Jestli se jejich sliby naplní, budeme mít i v budoucnu co připravovat a stavět a doufám, že v následujících letech budeme mít možnost dále dokazovat, že české podzemní stavitelství je na vysoké úrovni a je schopno řešit i ty nejsložitější úkoly tohoto oboru. Je to pro nás důležité i proto, abychom mohli vychovávat a školit novou generaci geotechniků a inženýrů pro podzemní stavitelství, kteří by tak mohli pokračovat v dlouhé tradici, kterou tento obor v naší zemi má.

S hornickým Zdař Bůh Vám všem a českému tunelovému stavebnictví zvláště přeji vše nejlepší, mnoho úspěchů a hodně krásných podzemních staveb.



## DEAR COLLEAGUES, READERS OF TUNNEL JOURNAL,

a year has come and gone and I have the honour or opportunity to write another editorial on behalf of our company SG Geotechnika a.s. for our favourite Tunel journal.

Last year, I devoted my editorial to a list of ongoing and upcoming underground construction projects in the Czech Republic. Reading this editorial from 2022 today makes me a little sad. Yes, the construction of the ID Prague metro line section between the Pankrác and Olbrachtova stations

has successfully started and we are dedicating a paper to this section and its engineering and geological conditions in this issue of Tunel journal. Unfortunately, however, the attempt to start the construction of the following section from Olbrachtova station to Nové Dvory station, the start of which was planned for the summer of 2023, has failed. The project, as well as the tender for the comprehensive geotechnical monitoring and condition survey of properties for this section, was moved to the Competition Office and the construction and monitoring will probably not start until the end of 2023.

Another important project, namely the engineering geological survey in the Czech Republic for the Erzgebirge Tunnel, a cross-border project on the route of the New Rail Link from Dresden to Prague in the Heidenau – Ústí nad Labem section, has also finished similarly. Here too, the tender for the drilling and testing work was sent to the Competition Authority.

Another case of postponement is the future, for the time being the longest, road tunnel, the Děřichov tunnel with a length of 3,983m on the D35 motorway section from Opatovec to Staré Město. For this tunnel, our company carried out a detailed and complementary engineering geological survey. The tunnel should be built as a PPP project, but the preparation and course of the PPP tender is a lengthy process, so it is possible that the tunnel construction will not be started even in 2024.

In order not to make everything sound only negative, I am pleased that our consortium managed to succeed and win a contract for a detailed geotechnical survey for the new construction of the Prague – Smíchov – Beroun rail line. The field work on the survey will start in November 2023 and will be very demanding with boreholes up to 160m deep. We are looking forward to this work, not only as geologists but also as tunnellers, and we wish to see the project of this almost 25km long tunnel through to the completion of the construction. If our work is successful, you can expect an article on the geotechnical conditions of this future tunnel in the geologically varied and attractive environment of the core of the Barrandian and the Bohemian Karst in a future issue of this journal in 2024 or early 2025.

I don't know whether the optimism is justified, but we are receiving assurances from the Ministry of Transport that there will be funds for the preparation of complex infrastructure construction projects. If their promises are fulfilled, we will continue to have something to prepare and build in the future, and I hope that in the coming years we will be able to continue to prove that Czech underground construction is at a high level and is capable of solving even the most complex tasks in this field. It is also important for us to be able to educate and train a new generation of geotechnical and underground construction engineers capable of continuing the long tradition of this field in our country. With miners' God Speed You, I wish you all and the Czech tunnel construction industry in particular all the best, much success and many beautiful underground construction projects.

**MGR. LUCIE BOHÁTKOVÁ**  
členka představenstva a obchodní  
ředitelka SG Geotechnika a.s.  
Member of the Board of Directors  
and Commercial Director  
of SG Geotechnika a.s.

# REKONSTRUKCE DĚČÍNSKÉHO A LOUBSKÉHO TUNELU

## RECONSTRUCTION OF THE DĚČÍNSKÝ AND LOUBSKÝ TUNNELS

JAROSLAV LACINA, LENKA KOČÍ, LUMÍR KLIŠ

### ABSTRAKT

Článek popisuje projektovou přípravu a zkušenosti z realizace rekonstrukce dvou železničních tunelů. Děčínský tunel je na hlavní trati Kolín–Všetaty–Děčín. Loubský tunel, ležící na sousední trati, jmenovanou trať podchází cca 100 m před vjezdovým portálem Děčínského tunelu. Hlavní trať byla v letech 2021–2023 optimalizována. Děčínský tunel prošel náročnou rekonstrukcí, spočívající především ve výměně původní klenby hloubené částí a zamezení průsaků v celém tunelu. Loubský tunel musel být rekonstruován vzhledem k nepřístupnosti při provozu trasy Kolín–Všetaty–Děčín. Během jeho fungování došlo k významnému poškození klenby příčnou trhlinou v místě křížení. Právě toto poškození bylo nutno sanovat.

### ABSTRACT

The article describes project preparation and experience from the reconstruction of two railway tunnels. The Děčínský Tunnel is on the main line Kolín–Všetaty–Děčín. The Loubský tunnel, located on the neighboring track, passes under the named track approx. 100m in front the entrance portal of the Děčínský Tunnel. The main line was optimized in 2021–2023. The Děčínský Tunnel underwent an extensive reconstruction, consisting primarily of the replacement of the original vault in cut and cover part of the tunnel and the waterproofing in the entire tunnel. The Loubský tunnel had to be reconstructed due to the inaccessibility of the Kolín–Všetaty–Děčín route. During its operation, the vault was significantly damaged by a transverse crack at the point of crossing. The damage had to be repaired.

### ÚVOD

Rekonstrukce uvedených tunelů byla součástí celkové obnovy trati v úseku Děčín východ – Děčín – Prostřední Žleb. Děčínský tunel je přímo na hlavní trati Kolín–Všetaty–Děčín. Loubský tunel na celostátní trati Děčín východ – Děčín Loubí, směřující do děčínského nákladního přístavu, hlavní trasu podchází cca 100 m před vjezdovým portálem Děčínského tunelu.

Samotná rekonstrukce tunelů probíhala v letech 2021–2022. Zkušební provoz byl zahájen 23. 2. 2023.

### DĚČÍNSKÝ TUNEL

Děčínský tunel byl vybudován jako dvoukolejný v roce 1874. Podle aktuálního zaměření je skutečná délka tunelové trouby 400,20 m. Do roku 1968 byl provozován jako dvojkolejný, v letech 1968–1971 proběhla jeho generální rekonstrukce, od té doby je provozován jako jednokolejný. V roce 1986 byla provedena elektrifikace trati.

Podle dílčích informací z archivních podkladů [1] a na základě výsledků průzkumných prací lze usuzovat, že tunel byl vybudován jako hloubený ve stavební jámě v délce cca 120 m a dále jako ražený. Nadloží v hloubené části má výšku cca 0,2–7,4 m, maximální výška nadloží v ražené části je cca 41 m. V hloubené části tunel kříží ulici U Střelnice, v ražené části pak silnici I/62 na ulici Loubské.

Tunelovou troubu tvoří celkem 53 pasů. Zdivo kleneb je převážně z pískovcových kvádrů, část pasů v ražené části je pak z cihelného zdiva. V pasech P1 až TP27 a TP49 až P2 byl celý povrch ostění překryt sanační vrstvou stříkaného betonu, v pasech TP28 až TP36 pouze v klenbě. Stříkané betony byly realizovány v rámci rekonstrukce v letech 1968–1971. Konstrukce portálů je původní zděná, z pískovcových kvádrů.

Před rekonstrukcí byla prostorová průchodnost podle ložné míry UIC GC s elektrizačním nástavcem nevyhovující. Cílem rekonstrukce bylo, mimo jiné, dosažení prostorové průchodnosti dle této normy i s elektrizačním nástavcem.

### INTRODUCTION

The reconstruction of the mentioned tunnels was part of the overall renewal of the line in the section Děčín východ – Děčín – Prostřední Žleb. The Děčínský Tunnel is directly on the main line Kolín–Všetaty–Děčín. The Loubský tunnel on the national line Děčín východ – Děčín Loubí, heading to the Děčín cargo port, passes the main route approx. 100m before the entrance portal of the Děčínský Tunnel.

The reconstruction of the tunnels itself took place in 2021–2022. Trial operation was started on February 23, 2023.

### DĚČÍNSKÝ TUNNEL

The Děčínský Tunnel was built as a double-track tunnel in 1874. According to the current alignment, the actual length of the tunnel is 400.20m. It was operated as a double-track until 1968, in the years 1968–1971 it underwent a general reconstruction, since then it has been operated as a single-track. In 1986, the line was electrified.

According to partial information from archival documents [1] and based on the results of investigation, it can be concluded that a length of approx. 120m of the tunnel was built as cut and cover in a construction pit, and the remaining part was excavated underground. The overburden height of the cut and cover part is approx. 0.2–7.4m, the maximum overburden height of the underground excavation part is approx. 41m. The cut and cover tunnel crosses U Střelnice Street, and in the bored tunnel underpasses I/62 road at Loubské Street.

The tunnel tube consists of a total of 53 sections. The masonry of the vault is mainly made of sandstone blocks, part of the sections in the bored part is made of bricks. In sections P1 to TP27 and TP49 to P2, the entire surface of the lining was covered with a protection layer of sprayed concrete, in sections TP28 to TP36 only in the vault. Shotcrete was installed as part of the reconstruction in 1968–1971. The portals structure is originally a masonry made of sandstone blocks.



## GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY

Zájmovým územím prochází od severozápadu k jihovýchodu hlavní poruchová linie děčínského zlomového pole, za kterou jsou směrem k jihozápadu, tedy do hloubené části tunelu, uloženy svrchnokřídové slínovce. Tato dislokace probíhá dle historických pramenů [1] pravděpodobně v úseku s mimořádně zkrácenými tunelovými pasy a protiklenbou v TP14 až TP17. Hloubená část byla dle archivních podkladů zasypána pískem s jílem. Podloží hloubené části je dle archivních podkladů tvořeno tuhým jílovcem; vrtným průzkumem [2] byl ověřen jílovec, silně až zcela zvětralý R6 (v opěře mezi pasy TP12/13), pod protiklenbou degradovaný na písčitou hlínu F3. Přechodová část s protiklenbou v pasech TP14 až TP20 byla dle archivních podkladů ražena v tuhém jílovcu (až slínovci). Zbývající úsek tunelu v pasech TP21 až P2 byl dle archivních podkladů ražen v pískovci s lokálními přítoky podzemní vody. V pase TP6 přitéká do tunelu z pravé strany bezejmenná vodoteč z prostoru jímání přebytků podchycených pramenů pitné vody ze Stoličné hory, kterou tunel prochází. Jde o prameny sloužící jako zdroj pitné vody pro město Děčín.

## PRŮZKUMNÉ PRÁCE

V rámci projektové přípravy rekonstrukce trati byl proveden i průzkum tunelu [3], [4] a [5]. Nejzávažnějším zjištěním byl fakt, že v hloubené části nebyla před zasypáním provedena hydroizolace tunelové klenby. Při rekonstrukci v letech 1968–1971 byl líc klenby uzavřen vrstvou stříkaného betonu a částečně bylo zdivo proinjektováno cementem. Tím bylo znemožněno prosychání zdiva zevnitř. Pískovcové zdivo klenby v hloubené části bylo vlivem prosakující vody degradované, mělo výrazně sníženou pevnost. V rámci realizovaného vrtného průzkumu [2] byly provedeny vrty do klenby ve všech tunelových pasech hloubené části tunelu. Ve vrtných jádrech byly zjištěny polohy rozpadlého pískovce; z odebraných vzorků měla velká část pevnost v tlaku menší než 10 MPa. V některých částech klenby chybělo pojivo mezi kameny (obr. 1).

## REKONSTRUKCE PŮVODNÍ HLOUBENÉ ČÁSTI TUNELU

V pasech, ve kterých byla průzkumem zjištěna nízká pevnost kamenných kvádrů zdiva (většinou 4 až 15 MPa), byla provedena výměna klenby. Jedná se o pasy P1 až TP12. Původní kamenná klenba byla vybourána a nahrazena železobetonovou konstrukcí, výměna byla prováděna z otevřeného výkopu, kterému předcházely zajišťovací práce v tunelu a stabilizace prostředí okolo tunelové trouby tak, aby bylo možno zachovat původní opěry v úseku výměny.

Zajištění stavební jámy bylo provedeno v úseku s mělkým nadložím kotvenými pilotovými stěnami. Ty byly tvořeny vrtanými pilotami Ø 900 mm á 1,4 m dl. 15 m v trvalém provedení, kotvenými dočasnými předpjatými pramencovými kotvami délky (celková délka/délka kořene) 15/7 m vlevo tunelu a 13/5 m vpravo tunelu. Rozteč kotev byla shodně 2,8 m. Potřebné zaručené kotevní síly se pohybovaly v rozmezí 365 až 380 kN.

Before the reconstruction, the structure gauge according to the UIC GC loading gauge with the pantograph was unsatisfactory. The goal of the reconstruction was, among other things, to comply with the structure gauge according to this standard even with the pantograph.

## GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS

The main fault line of the Děčín fault field passes through the area of interest from northwest to southeast, behind which the Upper Cretaceous marls are deposited towards the southwest, i.e. into the cut and cover part of the tunnel. According to historical sources [1], this shear zone is probably running in the area with exceptionally shortened tunnel sections and a vault in TP14 to TP17. According to archival documents, the cut and cover part was covered with sand and clay. According to archival documents, the subsoil of the cut and cover part is made of stiff claystone; the borehole investigation [2] confirmed the R6 claystone, strongly to completely weathered (in the abutment between the sections TP12/13), degraded to sandy loam F3 under the invert vault. According to the archival documents, the transition part with the invert vault in sections TP14 to TP20 was excavated in hard claystone (or even a marl). According to archival documents, the remaining section of the tunnel in sections TP21 to P2 was excavated in sandstone with local groundwater inflows. In the section TP6, an unnamed watercourse flows into the tunnel from the right side from the area of overflowed drinking water springs from the Stoličná mountain, through which the tunnel passes. These springs are the source of drinking water for the city of Děčín.

## INVESTIGATION WORKS

An investigation of the tunnel [3], [4] and [5] was carried out as part of the project preparation of the track reconstruction. The most serious finding was the fact that the tunnel vault was not waterproofed in the cut and cover part before backfilling. During the reconstruction in 1968–1971, the inner face of the vault was sprayed with a layer of concrete and the masonry was partially injected with cement. This prevented the masonry from drying out from the inside. The sandstone masonry of the vault in the cut and cover part degraded due to seeping water, and its strength was significantly reduced. As part of the borehole investigation [2], boreholes were drilled into the vault in all tunnel sections of



Obr. 1 Rozpad kamenné obezdívky – detail části sondy v TP12

Fig. 1 Disintegration of the stone wall – detail of part of the probe in TP12

Ve zbývající části hloubeného tunelu s nadložím klenby výšky cca 3,5 až 7 m byla kotvená pilotová stěna s pilotami délky 12 m ukončena přibližně ve vrchlíku klenby. Kotvení bylo navrženo šestipramencovými kotvami délky 25/12 m v rozteči 2,8 m. Potřebná zaručená kotevní síla byla 885 kN. Na korunu pilot navazovalo zajištění horní části stavební jámy kotveným svahem. Vzhledem k velikosti sil, které bylo třeba přenést, byly navrženy tyčové samozávrtné prvky průměru 32, 38 a 51 mm, kotvené přes kotevní prahy v líci stavební jámy. Délka kotev byla 6–12 m podle intenzity zatížení. Povrch líce stavební jámy byl posléze opatřen ochrannou vrstvou ze stříkaného betonu tl. 200–250 mm.

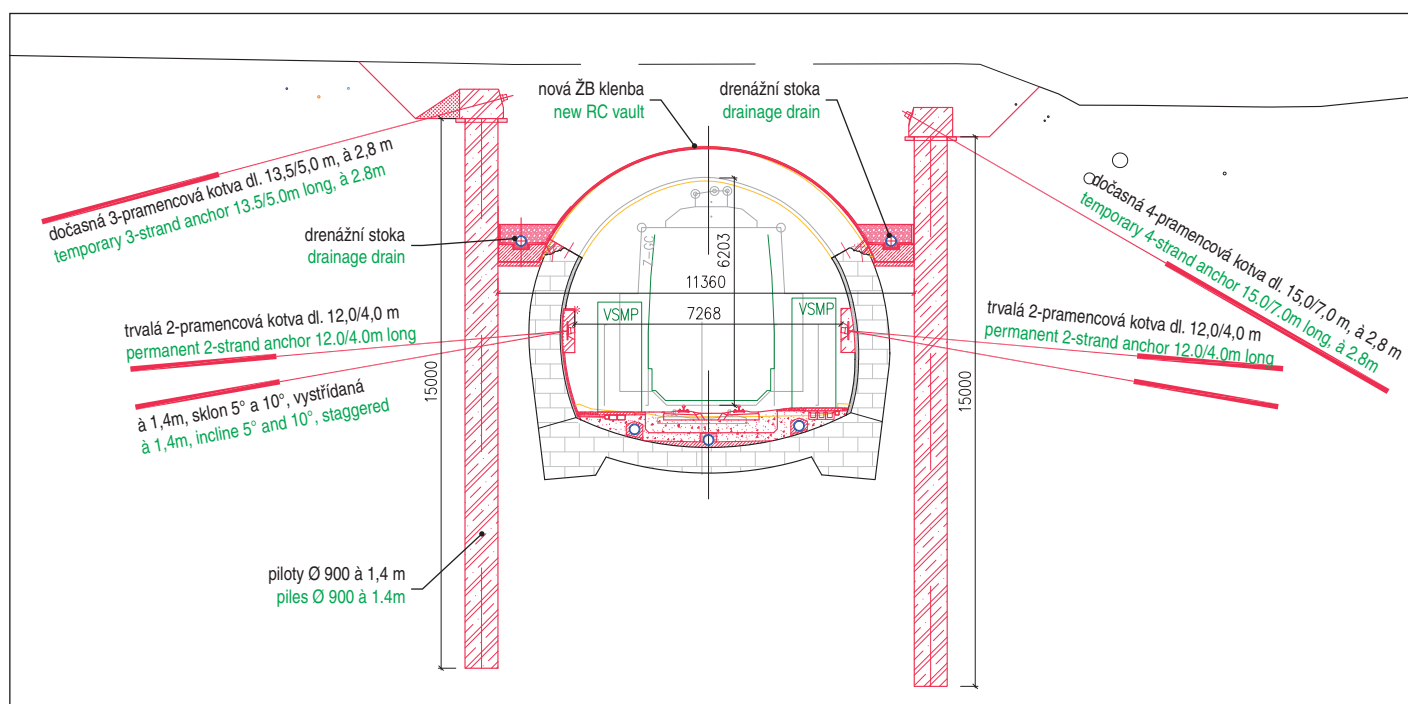
Ponechané opěry v tunelu byly přikotveny trvalými dvoupramencovými kotvami délky 12/4 m, situovanými mezi pilotami. Kotvení probíhalo přes monolitické kotevní bloky rozměrů min. 1,2 × 1,2 × 0,26 m s osou kotvení ve výšce cca 2 m nad osou nové koleje. Celkem bylo provedeno 146 prvků. Potřebné síly v kotvách v úseku s malým nadložím byly 220 kN, v úseku s vyšším nadložím pak 110 až 140 kN.

Před zahájením zemních prací nad tunelem bylo kromě přikotvení opěr provedeno rozepržení tunelu ve výšce cca 0,6 m pod bouranou částí klenby pro zajištění stability konzoly tunelové obehdivky (která po vybourání klenby zůstala stát). Rozepržení bylo



Obr. 2 Rozepržení tunelu před bouráním klenby  
Fig. 2 Bracing the tunnel before demolishing the vault

the cut and cover part of the tunnel. The positions of disintegrated sandstone were found in the drill cores; of the samples taken, a large part had a compressive strength of less than 10MPa. In some parts of the vault, the binder between the stones was missing (Fig. 1).



Obr. 3 Vzorový příčný řez tunelem v hloubeném úseku s výměnou klenby  
Fig. 3 Typical cross-section of the tunnel in the cut and cover section with the vault replacement



realizováno společně s bedněním nové klenby. To sloužilo po dobu výstavby jako ochrana bednicího systému před poškozením bouřným materiálem a v hluboké části stavební jámy v úseku TP8 až TP12 i jako podpora stávající klenby po dobu zajištění stavební jámy (obr. 2). Rozepření a bednění bylo provedeno systémovými prvky bednění PERI. Jednalo se o vodorovné prvky VARIOKIT v rozteči 1,25 m, podepřené dvěma věžemi stejného systému. Vzpěra byla podpůrnými věžemi zajištěna proti vybočení ve všech směrech. Vzpěrné elementy byly opřeny do ostění přes roznášecí ocelové prahy z válcovaných profilů. Přípustné síly v rozpěrách byly stanoveny hodnotou 170 kN. Tímto způsobem byla nahrazena původně navrhovaná klasická výdřeva tunelu ze statického posudku zadávací dokumentace.

Nová železobetonová klenba byla navržena v příčném rozsahu, vymezeném úhlem 120°. Její tloušťka byla shodná s průměrnou tloušťkou původní kamenné klenby 800 mm, obr. 3. Klenba byla spojena s původními opěrami pomocí dvojice ocelových trnů Ø R20 délky 500 mm v rozteči 330 mm na chemickou kotvu v těsně pracovní spáře. Systém vodotěsné izolace byl navržen v přiměřené míře v souladu s TNŽ 73 6280 (Technická norma železnic). Jako ochrana proti stékající vodě byla provedena pružná hydroizolační stříkaná membrána MasterSeal (výrobce SIKA) tl. 2 až 5 mm. Byla nanášena přímo na rub nové klenby. Zákonečné vodotěsné vrstvy v příčném směru bylo provedeno až na stěně zajištění stavební jámy cca 800 mm nad úrovní výkopu za rubem klenby (obr. 4). V podélném směru byla hydroizolace zakončena na začátku úseku na rubu portálové stěny na vyrovnávací vrstvě stříkaného betonu. Ochrana membrány byla provedena jako tvrdá ve smyslu TNŽ 73 6280 vrstvou stříkaného betonu tl. min. 50 mm s jednou vrstvou výztužné ocelové sítě.

Odvodnění stavení jámy pro výměnu klenby bylo provedeno v trvalé úpravě. Jednalo se o dvě postranní drenážní stoky, umístěné nalevo i napravo od nové tunelové klenby v nejnižším místě stavební jámy u stávajícího kamenného ostění. Stoky jsou v celé délce vyspádovány shodně se sklonem klenby tunelu směrem k výjezdovému portálu a v km 458,278 jsou přes ostění tunelu zaústěny do odvodňovacích stok uvnitř tunelu (jsou rovněž znázorněny na obr. 3).

## RECONSTRUCTION OF THE ORIGINAL CUT AND COVER PART OF THE TUNNEL

In the sections where the investigation revealed low strength of the masonry stone blocks (mostly 4 to 15MPa), the vault was replaced. These are sections P1 to TP12. The original stone vault was demolished and replaced by a reinforced concrete structure, the replacement was carried out from an open cut, which was preceded by support of the tunnel and stabilization of the area around the tunnel tube so that it was possible to preserve the original supports in the reconstructed section.

In the section with a shallow overburden the construction pit was retained with anchored pile walls. These were formed by permanent drilled piles Ø 900mm with spacing of 1.4m, and length of 15m, anchored with temporary prestressed strand anchors 15/7m long (total length/root length) on the left side of the tunnel and 13/5m on the right side of the tunnel. The distance between the anchors was exactly 2.8m. The design anchor forces ranged from 365 to 380kN.

In the remaining part of the excavated tunnel with an overburden height of approximately 3.5 to 7m above the vault, the anchored pile wall with piles 12m long ended approximately at the top of the vault. The six strands anchors were designed to the length 25/12m with a spacing of 2.8m. The required design anchoring force was 885kN. The upper part of the construction pit above the piles heads was retained by anchored sloped terrain. The forces magnitudes required installation of self-drilling bolts with a diameter of 32, 38 and 51mm, drilled through anchoring waling beams in the construction pit. The length of the anchors was 6–12m depending on the load magnitude. The surface of the construction pit was then protected with a shotcrete layer with thickness of 200–250mm.

The abutments of the tunnel were anchored by two permanent anchors with a length of 12/4m, located between the piles. The anchoring ran through monolithic anchoring blocks with dimensions of min. 1.2 × 1.2 × 0.26m with the axis of anchorage at a height of approx. 2m above the axis of the new track. A total of 146 anchors were drilled. The required forces in the anchors in the section with a small overburden were 220kN, in the section with a higher overburden it was 110 to 140kN.

Before starting earthworks above the tunnel, in addition to anchoring the abutments, the tunnel was braced at a height of approx. 0.6m below the demolished part of the vault to ensure the stability of the tunnel lining (which remained standing after the vault was demolished). The bracing was carried out together with the formwork of the new vault. This served during the construction period as protection of the formwork system against damage by the demolished material and in the deep part of the construction pit in the section TP8 to TP12 also as support for the existing vault for the time of retaining the construction pit (Fig. 2). Bracing and formwork was carried out by PERI formwork



Obr. 4 Rubová stříkaná hydroizolační membrána nové klenby tunelu  
Fig. 4 Back side sprayed waterproofing membrane of the new tunnel vault

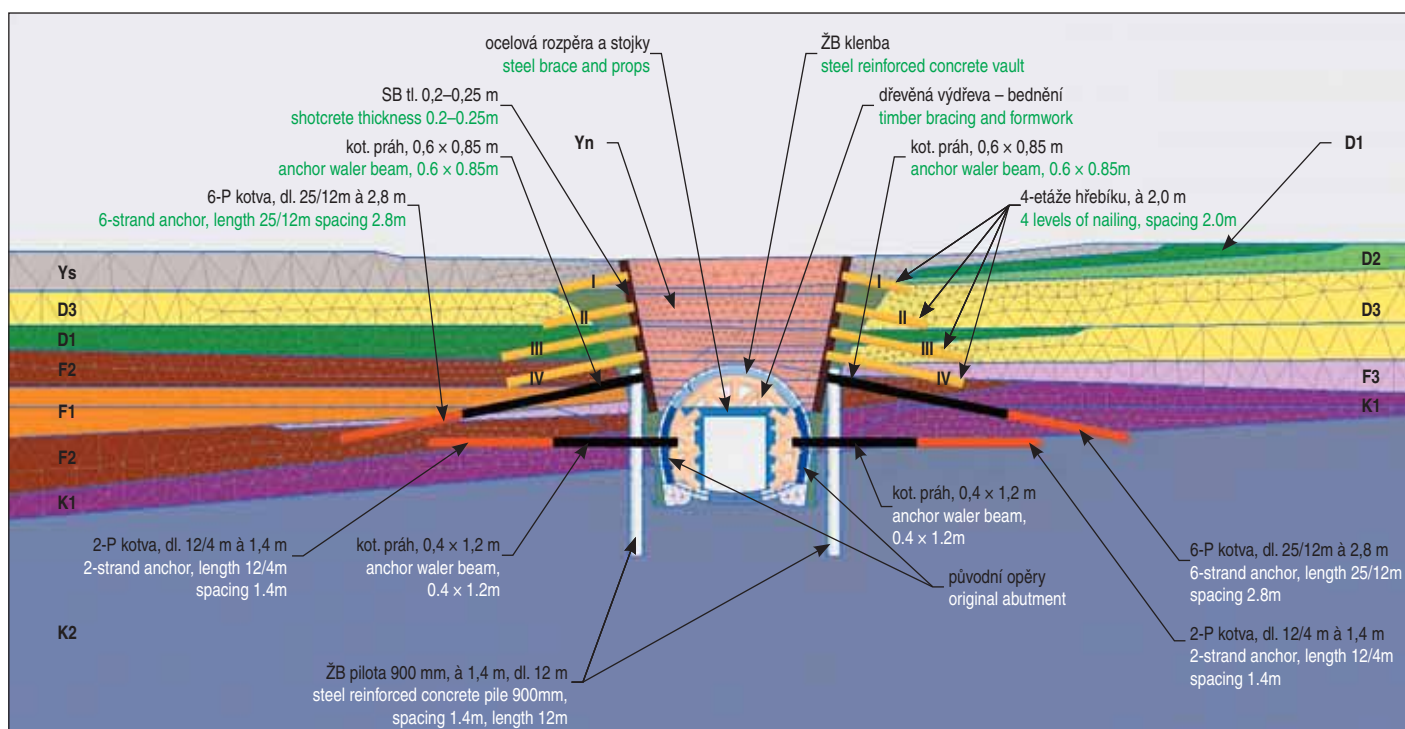
## STATICKÝ VÝPOČET VÝMĚNY KLENBY V HLOUBENÉ ČÁSTI TUNELU

Statický výpočet byl proveden numericky pomocí deformační metody v programu Plaxis2D (výrobce Bentley Systems). Takto ověřeny byly dva úseky, jeden s nízkým nadložím a druhý s vyšším nadložím. Byl použitý rovinný 2D model, který zohledňuje metrový výsek tunelu, tzn. všechny parametry prvků jsou eliminované na běžný metr. Pro modelování horninového prostředí tunelu a pilot byly použité plošné prvky s vloženými pruty o velmi nízké pevnosti, a to z důvodu zobrazení vnitřních sil v prvcích. Kotvy a rozpěrná rámová a příhradová konstrukce byly modelované pomocí prutů. Pro výpočet se použil postup podle ČSN EN 1997-1 Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1 Obecná pravidla, návrhový přístup 2. Pro návrh a statické posouzení bylo stěžejní okrajovou podmínkou dodržení přípustné excentricity vnitřních sil v kamenném ostění, která musela být podle ČSN EN 1996-1-1 Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce menší jak 1/6 tloušťky konstrukce.

V numerickém modelu byly zeminy modelovány pomocí 15 uzlových prvků. Jako materiálový model byl použit model Hardening soil (izotropní zpevnění). Jednalo se o elasto-plastický konstituční model s dvojitým objemovým a smykovým zpevněním.

system elements. These were horizontal VARIOKIT elements at a spacing of 1.25m, supported by two shoring towers of the same system. The bracing was secured against buckling in all directions by shoring towers. The bracing elements were leaned against in the lining through rolled steel beams. The permissible forces in the bracing were set at 170kN. In this way, the originally proposed classic timber support tunnel construction of the tender static calculation documentation was replaced.

The new reinforced concrete vault was designed in transverse section defined by an angle of 120°. Its thickness was the same as the average thickness of the original stone vault of 800mm, Fig. 3. The vault was connected to the original abutments by means of a pair of Ø R20 chemically anchored steel bolts of length 500mm at a spacing of 330mm to a in a waterproofed construction joint. The waterproofing system was designed to a reasonable extent in accordance with TNŽ 73 6280 (Technical Standard for Railways). As protection against running water, a flexible waterproofing sprayed membrane MasterSeal (manufactured by SIKA) with a thickness of 2 to 5mm. It was applied directly to the back of the new vault. The termination of the waterproof layer in the transverse direction was carried out up to the retaining wall of the construction pit approx. 800mm above the level of the excavation behind the back of the vault (Fig. 4). In the longitudinal



Obr. 5 Model konečných prvků řezu č. 2 v km 458,275 (vysoké nadloží), popis zajištění a geologické podmínky

Fig. 5 Finite element model of section No. 2 at km 458.275 (high overburden), description of support and geological conditions

Tab. 1 Legenda k obr. 5 – geologické podmínky

Ys	stávající zásypové zeminy	F1	jíl s vysokou plasticitou
D1	jíl písčité	F2	písek s příměsí jemnozrné zeminy
D2	jíl se střední plasticitou	F3	písek hlinitý
D3	písek hlinitý až jílovitý	K1	pískovec/slínovec zcela zvětralý charakteru jílu s vysokou plasticitou
		K2	pískovec/slínovec zvětralý/ navětralý

Tab. 1 Legend to Fig. 5 – geological conditions

Ys	existing backfill soil	F1	clay with high plasticity
D1	sandy clay	F2	sand with an admixture of fine-grained soil
D2	clay with medium plasticity	F3	loamy sand
D3	loamy to clayey sand	K1	completely weathered sandstone/marl of clay character with high plasticity
		K2	completely weathered/ weathered sandstone/marlstone



Jako kritérium porušení byla použita Mohr-Coulombova podmínka porušení definovaná pevnostními parametry.

Zeminy s propustností menší než  $10^{-8}$  m.s<sup>-1</sup> byly modelovány jako nedrénované – Undrained A (s využitím parametrů tuhosti a pevnosti). Efektivní parametry tuhosti byly doplněny o objemový modul vody  $k_w$ , rozlišují se efektivní a totální dráhy napětí. Ostatní zeminy byly modelovány jako odvodněné.

Betonové prvky a stávající ostění byly modelovány lineárně. Výpočet zohledňoval všechny fáze výstavby a jako nejkritičtější pro dodržení excentricity se z nich ukázaly dvě – fáze při demolici části klenby a poté fáze odbednění nové části klenby. Obě překračovaly povolenou excentricitu, a proto projektant musel navrhnout potřebná opatření. Při rozpojování klenby se ukázalo důležité použití pevného a nepoddajného podskružení. Byla navržena tuhá rámová ocelová konstrukce nesoucí dřevěnou příhradovou podpěrnou konstrukci podskružení, na které byly uloženy vyklínované fošny. Tato konstrukce měla za úkol co nejpevněji a s co možná nejmenšími deformacemi podepírat kamenné ostění. Toto opatření se prokázalo jako velmi efektivní k udržení excentricity vnitřních sil v ostění v požadovaných mezích. Pro fázi odbednění naopak hrál velmi významnou roli účinek zemních tlaků na tunel. S ohledem na geologické podmínky byly zemní tlaky působící na hloubený tunel částečně eliminované navrženou vnější kotvenou pilotovou stěnou. Toto opatření se ukázalo jako nedostatečné a nepomohlo ani zvýšení kotevní síly, neboť kotvy byly z realizačních důvodů umístěné v koruně pilot a nedokázaly významně ovlivnit deformace pilotové stěny o několik metrů níže, v místě opěří tunelu. Projektant musel pro redukci deformací, a tím i vnitřních sil, navrhnout uvnitř tunelu v místě opěří dodatečné kotevní bloky s kotvami (obr. 5) a až na základě jejich provedení se podařilo redukovat vnitřní síly v kamenném ostění hloubeného tunelu tak, aby excentricita byla v povolených mezích a nedošlo k porušení spár zdiva a tím i ovlivnění únosnosti celého ostění.

### SANAČNÍ PRÁCE V PŮVODNÍ RAŽENÉ ČÁSTI TUNELU

Po očištění povrchu kamenného i betonového ostění vysokotlakým vodním paprskem byla provedena sanace zbývajících (tj. ponechaných, nenahrazovaných) částí tunelového ostění v rozsahu:

- Stříkaná hydroizolační membrána v úsecích s povrchovou vrstvou stříkaného betonu tam, kde byly podrobným pasportem ostění zjištěny buď aktivní plochy zamokření, nebo stopy po průsacích a degradace povrchu betonu. Ochrana membrány byla provedena vrstvou stříkaného betonu tl. 50 mm.
- Rekonstrukce a obnovení původních svodnic, zřízených při generální opravě tunelu v letech 1968–1971. V úseku s novou klenbou byly obnoveny svodnice v ponechaných částech opěr vpravo i vlevo. Hloubka svodnice je dle provedených sond cca 330 až 400 mm od povrchu stříkaného betonu, šířka 200 až 250 mm. Svodnice mají navržený pojistný injektážní systém za použití polyuretanové pryskyřice.
- Injektáže – byly provedeny dva typy injektáží podle účelu. Vápenná injektáž (navržená speciálně pro nasákový typ kamene tvořící ostění) pro vyplnění prázdných spár ve zdivu klenby v začátku raženého úseku tunelu. Pro utěsnění průsaků v tunelu, injektáž trhlín a dotěsnění svodnic byla použita jednosložková polyuretanová pryskyřice.
- Sešítí trhlín – bylo provedeno v portálových oblastech. Oba portálové pasy byly vzájemně sešity výztuhami z nerezové helikální šroubovicové výztuže. V případě vjezdového portálu, který byl poškozen staticky velmi významnými trhlinami,

direction, the waterproofing was finished at the beginning of the section on the back side of the portal wall on a leveling layer of sprayed concrete. In the sense of TNŽ 73 6280, the membrane was protected as “stiff” with a sprayed concrete layer of 50mm minimum thickness with one layer of reinforcing steel mesh.

The permanent drainage of the construction pit for the replacement of the vault was carried out. It was formed by two side drainage drains, located to the left and right of the new tunnel vault in the lowest point of the construction pit near the existing stone lining. The drains are sloped along their entire length in parallel with the slope of the tunnel vault towards the exit portal, and at km 458.278 they exit through the tunnel lining into the drains inside the tunnel (they are also shown in Fig. 3).

### STATIC CALCULATION OF VAULT REPLACEMENT IN THE CUT AND COVER PART OF THE TUNNEL

The static calculation was performed by numerical analysis using the deformation method in the Plaxis2D program (manufactured by Bentley Systems). Two sections were verified in this way, one with a low overburden and the other with a higher overburden. A planar 2D model was used, which takes into account one meter-long section of the tunnel. For the modeling of the rock environment of the tunnel and piles, planar elements with inserted beam elements of very low strength were used, in order to display the internal forces in the elements. The anchors, and the bracing frame and lattice structure were modeled using beam elements. For the calculation, the procedure according to ČSN EN 1997-1 Eurocode 7: Designing geotechnical structures – Part 1 General rules, design approach 2 was used. For the design and static assessment, the key design criterion was compliance with the permissible eccentricity of internal forces in the stone lining, which had to be less than 1/6 of the thickness of the structure according to ČSN EN 1996-1-1 Eurocode 6: Design of masonry structures – Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures.

In the numerical model, the soil was modeled using 15 nodes elements. The Hardening soil model (isotropic hardening) was used as the material model. It was an elasto-plastic constitutive model with dual volume and shear strengthening. The Mohr-Coulomb failure condition defined by strength parameters was used as the failure criterion.

Soils with permeability less than  $10^{-8}$  m.s<sup>-1</sup> were modeled as undrained – Undrained A (using stiffness and strength parameters). The effective stiffness parameters were supplemented with the volume modulus of water  $k_w$ , the effective and total stress paths were distinguished. The other soils were modeled as drained.

The concrete elements and the existing lining used linear relationships. The calculation took into account all phases of the construction, and two of them turned out to be the most critical for complying with the eccentricity criterion – the phase during the demolition of part of the vault and then the phase of removing the formwork of the new part of the vault. Both exceeded the permitted eccentricity, and therefore the designer had to propose the necessary measures. When demolishing part of the vault, the use of a strong and non-yielding shoring proved to be important. A rigid frame steel structure was designed, supporting a wooden lattice shoring structure, on which the timber planks were fixed by wedging. The task of this structure was to support the stone lining as firmly as possible and with as little deformation as possible. This measure has proven to be very effective in keeping the eccentricity of the internal forces in the lining within the required limits. On

bylo provedeno jednak sešití výztuží do šikmých vrtů v počtu 2 ks / 1 zdící kámen pod úhlem cca 40° od trhliny, jednak sešití klenby v celém příčném profilu příčnými výztuhami ve vyřezaných drážkách.

- Spárování pískovcového zdiva památkářskou spárovací maltou.
- Hydrofobní impregnace povrchově zvětralých zdících kameňů ostění tunelu.

## ODVODNĚNÍ V TUNELU

Při výstavbě tunelu byla v jeho ose vybudována středová zděná (kamenná) tunelová stoka čtvercového profilu cca 40/40 cm, vyspádovaná k výjezdovému portálu, s vyústěním volně do šterkového lože. Stoka byla v průběhu sanačních prací v letech 1968–1971 částečně zneprůchodněna a nahrazena postranními stokami z betonových trub, v současnosti rovněž nefunkčními. V pase TP6 vpravo přitéká do tunelu v opěře vodoteč – původní potůček, stékající z pramenné oblasti Stoličná hora, zatrubněný při výstavbě vodovodu v letech 1900 a 1913.

Odvodnění v tunelu bylo navrženo středovou drenáží a postranními stokami. Důvodem pro návrh tohoto systému byla nutnost odvedení čtyř druhů vod z tunelu. Jedná se jednak o vody dešťové, prosáklé železničním svrškem, které stékají z projíždějících vlakových souprav, vody podzemní ze svodnic za rubem ostění, vody podzemní nezachycené sanačními opatřeními a také o vodu ze zatrubněné vodoteče.

the contrary, the effect of earth pressures on the tunnel played a very significant role for the formwork removal phase. Considering the geological conditions, the earth pressures acting on the cut and cover tunnel were partially eliminated by the designed external anchored pile wall. This measure turned out to be insufficient and even increasing the anchoring force did not help, as the anchors were placed at the piles heads for practical reasons and could not significantly affect the deformations of the pile wall a few meters below, at the abutments level. In order to reduce deformations, and thus internal forces, the designer had to design additional anchor blocks with anchors inside the tunnel at the abutment level (Fig. 5) and only their installation led to reduction of the internal forces in the stone lining of the cut and cover tunnel so that the eccentricity stayed within the permitted limits and there was no damage to the joints of the masonry and thereby the load-bearing capacity of the entire lining was positively affected.

## REMEDICATION WORK IN THE ORIGINAL BORED TUNNEL SECTION

After cleaning the surface of the stone and concrete lining with a high-pressure water jet, the remaining (i.e. left in place, not replaced) parts of the tunnel lining were remediated to the extent of:

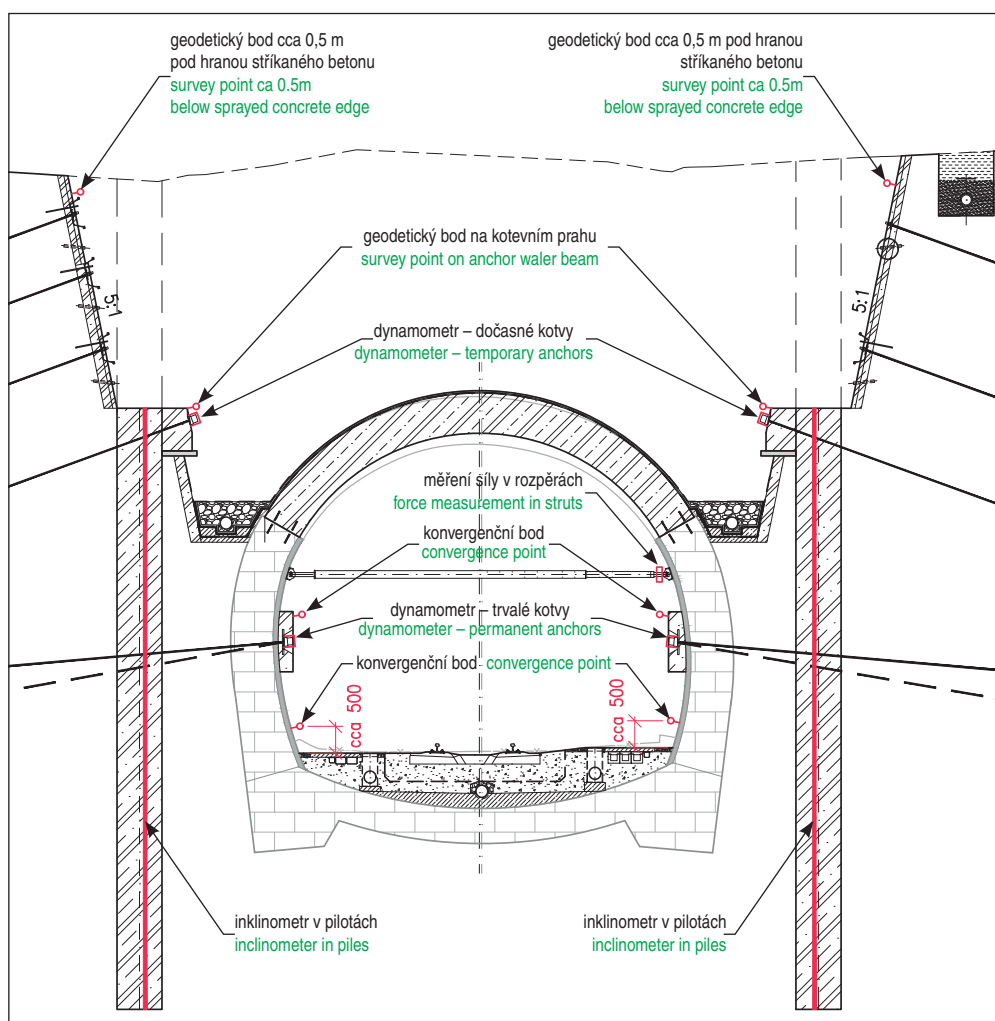
- Sprayed waterproofing membrane in sections with a surface layer of sprayed concrete, where either actively wet areas or traces of seepage and degradation of the concrete surface were detected by a detailed investigation of the lining. The

membrane was protected by a layer of sprayed concrete with a thickness of 50mm.

- Reconstruction and restoration of the original wall drain channels, installed during the general repair of the tunnel in 1968–1971. In the section with the new vault, the drain channels were restored in the remaining parts of the right and left abutments. According to the probes, the depth of the drain channels is approx. 330 to 400mm from the surface of the sprayed concrete, the width is 200 to 250mm. The drain channels included a designed safety injection system using polyurethane resin.

- Injections – two types of injections were performed according to the purpose. Lime grouting (designed specifically for the absorbent type of stone forming the lining) to fill hollow joints in the vault masonry at the beginning of the bored tunnel section. A one-component polyurethane resin was used to seal leaks in the tunnel, inject cracks and seal drain channels.

- Tying of cracks – was done in the portal areas. Both portal sections



Obr. 6 Schéma měřených prvků v rámci monitoringu stavby

Fig. 6 Scheme of measurements within the framework of construction monitoring





Obr. 7 Pohled do hloubené části Děčínského tunelu po rekonstrukci  
Fig. 7 View of the cut and cover part of the Děčínský Tunnel after reconstruction

## MONITORING PO DOBU VÝSTAVBY

Jelikož se jednalo o mimořádně složitou stavbu v nepříznivých geologických podmínkách, byly zřízeny dva sdružené měřicí profily v km cca 458,220 a 458,260. V uvedených řezech byla provedena měření na konstrukcích v rozsahu zřejmém z obr. 6:

- Inklinometrické měření v pilotách. Inklinometry byly osazeny do armokošů před betonáží pilot.
- Měření deformací pilotových stěn na osazených geodetických bodech. Příпустné deformace pilotových stěn byly stanoveny na 15 mm.
- Měření deformací kotvených svahů na geodetických bodech, osazených cca 0,5 m pod horní hranu stříkaného betonu. Příпустné deformace byly stanoveny na 40 mm.
- Měření kotevnicích sil na kotvách na osazených dynamometrech.
- Měření deformací kotevnicích bloků v tunelu – celkem sedm profilů. Příпустné deformace byly stanoveny pouze 4 mm. Tato měření nebyla z důvodu nepřístupnosti profilů realizována během výstavby, byla doplněna v průběhu odstraňování rozpěr pro kontrolu deformací během aktivace nové klenby.
- Měření sil v rozpěrách – celkem sedm profilů. Síly byly měřeny kontinuálně tenzometry. Jelikož by případné překročení sil v rozpěrách mělo za následek nebezpečí havárie, byly

were tied to each other with reinforcements made of stainless steel helical bars. In the case of the entrance portal, whose static integrity was threatened by extensive cracks, reinforcement was tied to inclined drillholes in the number of 2pcs/1 masonry stone at an angle of approx. 40° from the crack direction, and the vault was tied in the entire transverse profile with transverse reinforcement in cut grooves.

- Infilling joints of sandstone masonry with monument preservation authority approved mortar.
- Hydrophobic impregnation of surface weathered masonry stones of the tunnel lining.

## TUNNEL DRAINAGE

During the construction of the tunnel, a central masonry (stone) tunnel drain with a square profile of approx. 40/40cm was built in the tunnel axis, sloping down to the exit portal, with a free discharge into the gravel bed. In the course of remediation works in the years 1968–1971, the drain was partially blocked and replaced by lateral drains made of concrete pipes, which are also currently non-functional. In the section TP6 on the right side, a watercourse flows into the tunnel in the abutment; the original stream, flowing from the spring area of Stoličná hora, which was piped in during the construction of the water supply in 1900 and 1913.

výsledky měření s definovanými kritickými silami napojeny na varovný systém stavby.

- Měření vývoje šířky trhlin v klenbě vjezdového portálu.

Výsledky měření prokázaly správnost návrhu. Většina naměřených hodnot byla na úrovni 50–80 % předpokládaných hodnot. Měření prováděla firma INSET s.r.o.

Na obr. 7 je pohled do hloubené části tunelu po jeho rekonstrukci.

## SANACE LOUBSKÉHO TUNELU

Loubský tunel dl. 124,0 m byl vybudován v roce 1893 a byl proveden v otevřené stavební jámě. Původní část délky 41,50 m od vjezdového portálu je vedena pod železniční trati Děčín – Prostřední Žleb, která je se segmentovou klenbou tunelu prakticky v kontaktu. Zbytek dl. 82,50 m byl dostavěn v souvislosti s budováním silnice I/62 v roce 1943 a je veden pod silniční komunikaci a dále směrem do přístavu. Tunelová trouba je dělená na šest pasů. Předmětem sanace byla pouze původní klenbová část pod tratí, kterou tvoří jediný pas TP1.

Kamenná klenba z pískovcových kvádrů tloušťky 60 cm je opřena do dvou masivních svíslých opěr rovněž z kamenného zdiva. Tloušťka opěr je 2 m a je konstantní po celé výšce. Tunelová spodní klenba má proměnnou tloušťku 50 až 100 cm. Klenba byla provedena bez izolace.

## GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY

Dle dostupných historických informací byl tunel v jižní části ražen ve žlutých jílech a jílovitých píscích přecházejících směrem k základové spáře v šedé jílovce. O podrobnějších charakteristikách zastižených vrstev se nezachovaly další informace. Vzhledem k malé vzdálenosti od Děčínského tunelu a poloze jižně od děčínského zlomového pole lze předpokládat, že zde byly zastiženy polohy zcela zvětralých až rozložených slínovců až jílovců charakteru jílu s vysokou plasticitou, pravděpodobně konzistence tuhé až pevné.

Drainage in the tunnel was designed with central drainage and side drains. The reason for the design of this system was the necessity to remove four types of water from the tunnel. These include rainwater, water soaked into the railway top, which comes from passing trains, groundwater from drain channels behind the lining, groundwater not restrained by waterproofing measures, and also water from the piped watercourse.

## MONITORING DURING CONSTRUCTION

As it was an extremely complex construction in unfavorable geological conditions, two combined measuring profiles were established at km approx. 458.220 and 458.260. In the those sections, measurements were made on structures in the range shown in Fig. 6:

- Inclinometric measurement in piles. The inclinometers were installed in the steel reinforcement cages before the piles were concreted.
- Measurement of deformations of pile walls by geodetic points. Permissible deformations of the pile walls were set at 15mm.
- Measurement of deformations of anchored slopes by geodetic points, placed approx. 0.5m below the upper edge of the sprayed concrete. Permissible deformations were set at 40mm.
- Measurement of anchor forces on anchors by dynamometers.
- Measurement of deformations of anchor blocks in the tunnel – a total of seven profiles. Permissible deformations were set at only 4mm. These measurements were not carried out during construction due to the inaccessibility of the profiles, they were performed during the removal of bracing to check deformations during the activation of the new vault.
- Measurement of forces in bracing – a total of seven profiles. Forces were measured continuously with strain gauges. Since any excess of the forces in the bracing would result in the risk of an accident, the measurement results with defined force limits monitoring was connected to the construction site warning system.



Obr. 8 Pohled na izolovaný rub klenby Loubského tunelu

Fig. 8 View of the waterproofed back side of the Loubský tunnel vault





Obr. 9 Pohled na portál Loubského tunelu po rekonstrukci  
Fig. 9 View of the Loubský tunnel portal after reconstruction

## PRŮZKUMNÉ PRÁCE

V rámci projektové přípravy proběhl stavebně-technický průzkum. Bylo konstatováno, že portálové zdivo má zvětřalé spárování s hojným výskytem náletových dřevin. Ve zdivu byla zjištěna jedna výrazná trhлина v kameni zdiva, zákrytové desky byly částečně zničené a nahrazené betonem. Tunelová klenba i obě opěry byly porušeny staticky významnou trhlinou v místě křížení tunelu s hlavní tratí Kolín–Všetaty–Děčín (viz úvod).

## SANAČNÍ PRÁCE

Kromě spárování drobných zvětřalých ploch bylo hlavním sanačním zásahem sešití výrazné příčné praskliny klenby. Sešití klenby bylo provedeno výztuhami z nerezové helikální šroubovicové výztuže vkládané a lepené do drážek, vyfrézovaných do líce klenby. Opěry tloušťky 2 m byly sešity šikmými výztuhami z helikální výztuže do vrtů délky 1,2 m a následně zainjektovány (slepeny) silově spojující injektáží (pro zvýšení soudržnosti výztuh a klenby).

Po odtěžení povrchu klenby bylo zjištěno, že příčná trhлина,

- Monitoring of the cracks width in the vault of the entrance portal.

The measurement results proved the design accuracy. Most of the measured values were at the level of 50–80% of the predicted values. The monitoring was carried out by the company INSET s.r.o.

Shows a view of the cut and cover tunnel after its reconstruction.

## REMEDICATION OF THE LOUBSKÝ TUNNEL

Loubský tunnel, length 124.0m, was built in 1893 and was constructed in an open construction pit. The original part of 41.50m from the entrance portal is led under the railway line Děčín – Prostřední Žleb, which is practically in contact with the segmental vault of the tunnel. The rest of the length 82.50m was completed in connection with the construction of the I/62 road in 1943 and is led under the road and further towards the port. The tunnel tube is divided into six sections. The subject of remediation was only the original invert vault part under the track, which consists of a single TP1 section.

The stone vault made of sandstone blocks with a thickness of 60cm is connected to two massive vertical abutments, also made of stone masonry. The thickness of the abutments is 2m and is constant along the entire height. The tunnel invert vault has a variable thickness of 50 to 100cm. The vault was constructed without waterproofing.

## GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS

According to available historical information, the tunnel in the southern part was excavated in yellow clays and clayey sands changing in gray claystone towards the tunnel foundation base. No further information has been preserved about the more detailed characteristics of the encountered layers. Due to the proximity to the Děčínský tunnel and the position south of the Děčín fault zone, it can be assumed that layers of completely weathered to decomposed siltstones and claystones of a clay character with high plasticity, probably of a stiff to solid consistency were there encountered.

## INVESTIGATION WORKS

As part of the project preparation, a construction survey was carried out. It was noted that the portal masonry has weathered joints with an abundant occurrence of invasive tree roots. One extensive crack was found in the masonry, the cover slabs were partially destroyed and replaced with concrete. The tunnel vault and both abutments were broken by a crack at the intersection of the tunnel with the main Kolín–Všetaty–Děčín line (see introduction) which was significant for static integrity.

## REMEDICATION WORK

In addition to the patching of small weathered areas, the main remedial intervention was the tying of a significant transverse crack in the vault. The tying of the vault was done with reinforcement made of stainless-steel helical bars inserted and glued into grooves cut into the face of the vault. The abutments with a thickness of 2m were tied with angled reinforcement from helical bars inserted in 1.2m long boreholes which were subsequently injected (glued) with force-resilient grout (to increase the cohesion between the reinforcements and the vault).

After removing the surface of the vault, it was found that the transverse crack, visible in its face, is continuous through the entire thickness of the vault. In addition, longitudinal cracks were also noted on the back side in the transition area of the vault to the

viditelná v jejím líci, je průběžná přes celou tloušťku klenby. Kromě toho byly na rubu zaznamenány podélné trhliny také v oblasti přechodu klenby do opěry. Délka trhlín byla podle zaměření cca 22,9 m. Podle výsledků průzkumných vrtů zasahovaly tyto trhliny min. do hloubky zdiva tunelu 0,5 m a byly patrné i na líci nosného zdiva opěr. Jednalo se o trhliny mezi nosným zdivem klenby a výplňovým zdivem nad opěrou. Rubová část příčné statické trhliny byla sešita šikmými výztuhami z helikální výztuže do vrtů délky cca 600 mm a následně zainjektována (slepena) silově spojující injektáží (pro zvýšení soudržnosti výztuže a klenby). Stejnou hmotou byly injektovány i podélné trhliny, a to pomocí vrtů délky cca 1 m.

Hydroizolace klenby byla provedena z rubu pružnou hydroizolační stříkanou membránou MasterSeal 345 (výrobce SIKA) tl. 3 až 6 mm (obr. 8). Ochrana vodotěsné vrstvy byla provedena jako tvrdá ve smyslu TNŽ 73 6280 vrstvou stříkaného betonu tl. min. 50 mm s jednou vrstvou kompozitní výztužné sítě z čedičových prutů 3 × 100/3 × 100 mm. Součástí ochrany proti pronikající vodě bylo také odvedení podzemních vod z prostoru nad sanovaným stropem tunelu. Byly provedeny dvě postranní drenážní stoky DN 150, které byly zaústěny do projektovaných šachet svodného potrubí železničního svršku.

Portálové zdivo bylo rozebráno, poškozené kameny a římsové desky vyměněny a následně bylo provedeno přezdění na vápenou zdicí a spárovací památkářskou maltu. Z důvodu nedostatku prostoru pro osazení všech stávajících i nově navržených inženýrských sítí nad tunelem a v oblasti kolem úvodních partií portálových křídel bylo nutno zvýšit zemní těleso zpětného zásypu stavební jámy nad tunelem. Z tohoto důvodu byla stávající portálová křídla délky cca 33 m zvýšena o cca 1 m tak, aby navazovala na poprsní zeď portálu. Navýšení bylo provedeno z řádkového zdiva stejných rozměrů, jako je stávající. Zdivo bylo ošetřeno hydrofobním transparentním nátěrem (obr. 9).

## ZÁVĚR

Stavba probíhala dle projektu při úplné výluce. Náročnost navržené rekonstrukce vyžadovala úzkou součinnost projektanta, stavebních firem, řešitele monitoringu a dozoru stavby. Je nutno konstatovat, že i přes velmi složité sanační zásahy zde prakticky nedochází k žádným významným průsakům, které by ohrožovaly bezpečnost provozu, ani k nadměrným deformacím nových konstrukcí. Autoři projektu proto důvodně předpokládají, že oba tunele budou spolehlivě sloužit svému účelu dalších 150 let.

Ing. JAROSLAV LACINA, [jlacina@amberg.cz](mailto:jlacina@amberg.cz),  
Ing. LENKA KOČÍ, [lkoci@amberg.cz](mailto:lkoci@amberg.cz),  
Ing. LUMÍR KLIŠ, [lkli@amberg.cz](mailto:lkli@amberg.cz),  
AMBERG Engineering Brno, a.s.

Recenzoval *Reviewed by*: Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D.

abutment. According to the survey, the length of the cracks was approx. 22.9m. According to the results of exploratory drilling, these cracks reached to a minimum depth of 0.5m in the tunnel masonry and were also visible on the face of the abutments masonry. These were cracks between the load-bearing masonry of the vault and the infill masonry above the abutment. The back side of the transverse crack was tied with angled reinforcement from the helical bars in the drillholes with a length of approx. 600mm which were subsequently injected (glued) with force-resilient grout (to increase the cohesion between the reinforcement and the vault). Longitudinal cracks were also injected with the same grout, using boreholes approx. 1m long.

The waterproofing of the vault was carried out on the back side with a flexible sprayed waterproofing membrane MasterSeal 345 (manufactured by SIKA) thickness 3 to 6mm, Fig. No. 8. The waterproof layer was protected as "stiff", in the sense of TNŽ 73 6280, with a layer of sprayed concrete tl. min. 50mm with one layer of composite reinforcing mesh of basalt rebars 3 × 100/3 × 100mm. Part of the protection against seeping water was also groundwater drainage from the area above the renovated tunnel roof. 2 lateral drains of DN 150 were built, which discharged into the manholes of the railway top drainage.

The portal masonry was dismantled, the damaged stones and cornice slabs were replaced, and then the re-masoned with lime masonry and jointing mortar as approved by monument preservation authority. Due to the lack of space for installing all existing and newly designed engineering utilities above the tunnel and in the area around the portal wings, it was necessary to raise the backfill earth body of the construction pit above the tunnel. For this reason, the existing portal wings of approx. 33m in length were increased in height by approx. 1m so that they were connected to the head wall of the portal. The additional wings height was built from stone masonry of the same dimensions as the existing one. The masonry was treated with a hydrophobic transparent coating (Fig. 9).

## CONCLUSION

The construction was carried out according to the project with suspended train traffic. The complexity of the proposed reconstruction required the close cooperation of the designer, construction companies, and the monitoring and construction supervision. It must be stated that, despite the very complex remediation interventions, there are practically no significant leaks that would threaten the safety of operation, nor excessive deformations of the new constructions. The authors of the project therefore reasonably assume that both tunnels will reliably serve their purpose for the next 150 years.

Ing. JAROSLAV LACINA, [jlacina@amberg.cz](mailto:jlacina@amberg.cz),  
Ing. LENKA KOČÍ, [lkoci@amberg.cz](mailto:lkoci@amberg.cz),  
Ing. LUMÍR KLIŠ, [lkli@amberg.cz](mailto:lkli@amberg.cz),  
AMBERG Engineering Brno, a.s.

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] SPRÁVA ŽELEZNIC, státní organizace. *Archivní dokumentace k Děčínskému a Loubenskému tunelu. Tunelová kronika, evidenční list tunelu. 1874–2022.*
- [2] HRUŠKA, J., SUDOP PRAHA a.s., *Průzkum tunelu – vrtané a kopané sondy*, 2019. Místo: Praha.
- [3] KOCOUREK, R., SG GEOTECHNIKA a.s., *Petrografický rozbor vzorků hornin z ostění tunelu*, 2019. Místo: Praha.
- [4] HRUŠKA, J., SUDOP Praha a.s., *Železniční tunel km 458,363 (č.59) – Děčínský, Geotechnický a stavebnětechnický pasport*, 2019. Místo: Praha.
- [5] LACINA, J., HORŇÁKOVÁ, L., AMBERG Engineering Brno, a.s., *Pasport ostění tunelu*, 2019. Místo: Brno.



# TUNEL ANNEBERG–SKANSTULL

## ANNEBERG–SKANSTULL TUNNEL

JIŘÍ UMLAUF, JAN VESELÝ

### ABSTRAKT

Společnost Amberg Engineering působí na skandinávském trhu od roku 2010 a během této doby se podílela na řadě významných projektů. Jedním z nich je kabelový tunel Anneberg–Skanstull, který propojí severní a jižní část města Stockholm a pomůže posílit přenosovou soustavu v metropoli. Tunel je ražen otevřeným TBM do pevných hornin (Gripper TBM), tj. technologií, která je ve Skandinávii nasazována jen zřídka. Tento článek podává základní přehled o projektu a zaměřuje se na aspekty, které ho odlišují od podobných projektů ve střední Evropě.

### ABSTRACT

Amberg Engineering has been active in the Scandinavian market since 2010 and has participated in a number of important projects during that time. One of them is the Anneberg–Skanstull cable tunnel, which will connect the northern and southern parts of the city of Stockholm and help strengthen the transmission system in the metropolis. The tunnel is driven by an open TBM in hard rock (Gripper TBM), i.e. a technology that is rarely used in Scandinavia. This article provides a basic overview of the project and focuses on aspects that distinguish it from similar projects in Central Europe.

### 1 ÚVOD

Rostoucí poptávka po stabilních dodávkách elektrické energie vyžaduje posílení stávající přenosové soustavy, což v kombinaci s rostoucí cenou pozemků vede v mnoha evropských městech k nahrazování nadzemních vedení podzemními. Hlavní město Švédska není výjimkou. Místní provozovatel přenosové soustavy, společnost Svenska kraftnät, realizuje v stockholmské metropolitní oblasti řadu projektů, které mají poptávku po elektrické energii uspokojit. Jedním z nich je kabelový tunel Anneberg–Skanstull.

Společnost Amberg Engineering se na tomto projektu podílí od roku 2019 jako projektant zajištění tunelu a TBM konzultant. V současné době, kdy se projekt nachází v realizační fázi, je společnost zodpovědná za analýzu dat zaznamenaných TBM v průběhu ražby tunelu. Tento článek předkládá obecný přehled o stavbě, uvádí poznatky z projekční fáze a stručně shrnuje zkušenosti z fáze realizační.

### 2 TUNEL ANNEBERG–SKANSTULL

Tunel Anneberg–Skanstull je tunel pro 400 kV elektrické vedení ražený ve švédské metropoli Stockholm. Tunel spojuje severní rozvodnu Anneberg v obci Danderyd s jižní rozvodnou Skanstull, která se bude nacházet v stockholmské čtvrti Södermalm. Mimo jiné budovy a rezidenční oblasti tunel podchází pod významnou nemocnici v Danderyd, Stockholmskou univerzitou a Královským technologickým institutem.

Plánovaná délka tunelu je 13,4 km a ražba se provádí pomocí otevřeného Gripper TBM. Pro větrání, odvádění tepla generovaného kabely vysokého napětí a čerpání podzemní vody je navrženo celkem šest šachet. V závislosti na hloubce a geologických podmínkách jsou šachty hloubeny buď metodou Drill and Blast, nebo metodou Raise Boring. Situace stavby je schematicky zobrazena na obr. 1 a ilustrovaný podélný profil na obr. 2.

### 1 INTRODUCTION

The growing demand for stable electric power supply requires strengthening of the existing transmission system, which, in combination with the rising cost of land, is leading to the replacement of overhead lines by underground lines in many European cities. The capital of Sweden is no exception. The local transmission system operator, Svenska kraftnät, is realizing a number of projects in the Stockholm metropolitan area to meet the demand for electricity. One of them is the Anneberg–Skanstull cable tunnel.

Amberg Engineering has been involved in this project since 2019 as a tunnel support designer and TBM consultant. Currently, when the project is in the construction phase, the company is responsible for analyzing the data recorded by the TBM during the tunnel excavation. This article presents a general overview of the construction, presents findings from the design phase and briefly summarizes the experience from the construction phase.

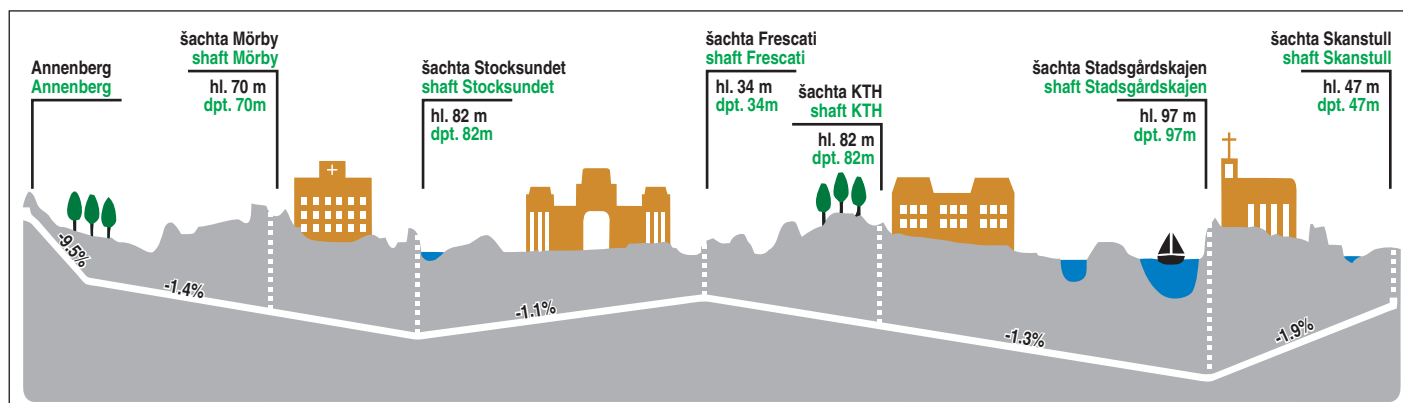
### 2 ANNEBERG–SKANSTULL TUNNEL

The Anneberg–Skanstull tunnel is a 400kV power line tunnel excavated in the Swedish capital Stockholm. The tunnel connects the northern substation Anneberg station in the municipality of Danderyd with the southern substation Skanstull, which will be located in Stockholm's Södermalm district. Among other buildings and residential areas, the tunnel passes under the prominent hospital in Danderyd, Stockholm University and the Royal Institute of Technology.

The planned length of the tunnel is 13.4km and excavation is carried out using an open Gripper TBM. A total of six shafts are designed for ventilation, removal of heat generated by high voltage cables and groundwater pumping. Depending on the depth and geological conditions, shafts are excavated either by



zdroj: Svenska kraftnät source: Svenska kraftnät  
Obr. 1 Schematic situation plan  
Fig. 1 Schematic situation plan



zdroj: Svenska kraftnät source: Svenska kraftnät

Obr. 2 Schematický podélný řez  
Fig. 2 Schematic longitudinal section

Tab. 1 Klíčové informace o projektu  
Tab. 1 Key project information

Umístění stavby Construction location	Stockholm, Švédsko Stockholm, Sweden
Tunelovací metoda Tunneling method	otevřený Gripper TBM Open Gripper TBM
Celková délka tunelu Total length of the tunnel	13,4 km 13.4km
Průměr tunelu Tunnel diameter	5 m 5m
Geologie Geology	žula, rula, metabazit granite, gneiss, metabasite
Zhotovitel Contractor	sdužení Hochtief – Implenia Hochtief – Implenia Joint Venture
Zahájení ražby Start of excavation	únor 2020 February 2020

## 2.1 Geologické podmínky

Minimální skalní nadloží tunelu je 16 m, celkové nadloží včetně kvartérních pokryvů se pohybuje v rozmezí 20 až 120 m. Geologické podmínky jsou na středoevropské poměry mimořádně příznivé. Horninové prostředí je tvořeno převážně masivní žulou, rulou nebo metabazitem. Dle geologického průzkumu je masiv na více než 85 % trasy tunelu hodnocen indexem GSI > 60.

Poruchové zóny jsou charakterizovány alterovanými a tektonicky porušenými horninami s hodnocením GSI < 37. Predikovány jsou přibližně na 4 % z celkové délky tunelu. Nejnáročnějšími geologickými podmínkami bude tunel procházet ve staničení 11+460 – 11+575, kde ražba podchází pánve Baltského moře. Tato oblast je nazývána Strömmen a vyznačuje se silně rozpukanými a alterovanými horninami s diskontinuitami vyplněnými objemově nestálými jíly. Fotografie výnosu vrtného jádra z průzkumného vrtu v této oblasti je uvedena na obr. 3.

## 2.2 Tunelovací stroj

Tunelovací stroj vyrobený společností Herrenknecht byl v souladu s účelem tunelu pojmenován Elektra. Hlavní část stroje má délku 23,5 m, hmotnost 355 tun a skládá se z řezné hlavy, krátké ochranné obálky, vrtné soupravy a dvojce radiálních lisů. Za ním následuje návěs – 16 vagonů s podpůrnými systémy o celkové délce přibližně 220 m. Logistiku a zásobování materiálem zajišťuje víceúčelové vozidlo na pneumatikách, speciálně navržené pro stísněný prostor raženého tunelu a tunelovacího stroje.

Razicí hlava tvořená jedním segmentem je osazena 28 řeznými disky o průměru 48 cm, z nichž každý má hmotnost přibližně

the Drill and Blast method or by the Raise Boring method. The situation of the construction site is shown schematically in Fig. 1 and the illustrated longitudinal profile in Fig. 2.

## 2.1 Geological conditions

The minimum rock cover of the tunnel is 16m, the total overburden including Quaternary covers ranges from 20 to 120m. Geological conditions are extremely favorable compared to Central European standards. The rock consists mainly of massive granite, gneiss or metabasite. According to the geological survey more than 85% of the rock along the tunnel route is rated with a GSI index > 60.

Fault zones are characterized by metamorphic and tectonically fractured rocks with a GSI < 37. They are predicted to be approximately 4% of the total length of the tunnel. The tunnel will pass through the most demanding geological conditions at stationing 11+460 – 11+575, where the excavation runs under the Baltic Sea basin. This area is called Strömmen and is characterized by highly fractured and metamorphosed rocks with discontinuities filled with volumetrically unstable clays. A photo of the rock core from an exploratory borehole in this area is shown in Fig. 3.

## 2.2 Tunneling machine

The tunneling machine manufactured by Herrenknecht was named Elektra in accordance with the purpose of the tunnel. The main body of the machine is 23.5m long, weighs 355 tons and consists of a cutting head, a short shield, a drill rig and a pair of radial grippers. It is followed by a trailing gantries – 16 wagons with support systems with a total length of approximately 220m.

Tab. 2 Klíčová technická data TBM  
Tab. 2 TBM key technical data

Výrobce Manufacturer	Herrenknecht Herrenknecht
Název TBM Name TBM	Elektra Elektra
Jmenovitý průměr (s novými řeznými disky) Nominal diameter (with new cutting discs)	5,03 m 5.03m
Teoretická rychlost postupu Theoretical advance speed	200 mm/min 200mm/min
Hlavní pohon Main drive	2 100 kW (6 × 350 kW) 2,100kW (6 × 350kW)
Rychlost Cutterhead speed	0–12 otáček za minutu 0–12rpm
Maximální kroutící moment Maximum torque	3 159 kNm 3,159kNm
Celková délka (s návěsem) Total length (with gantries)	cca 240 m approx. 240m



180 kg. Pro ochranu řezné hlavy a personálu před možným pádem horninových bloků je instalována 6 m dlouhá ochranná obálka (tzv. finger shield – viz obr. 4). Spodní část obálky je teleskopická a slouží jako posuvná rozpěra, která pomáhá stabilizovat stroj proti vibracím při ražbě.

Rozpěrný systém je tvořen dvojicí radiálních lisů, kterými se stroj přes přítlačné desky opírá o stěny tunelu. Ve vhodných geologických podmínkách může systém vyvinout přítlačnou sílu až 14,25 MN a rozpěrnou sílu 36 MN. Maximální délka jednoho záběru je 2 m.

Stroj umožňuje instalovat zajištění výrubu ve dvou oblastech, L1 a L2. Oblast L1 se nachází přímo za razicí hlavou a ochrannou obálkou, tedy přibližně ve vzdálenosti 6 m za čelbou. V tomto úseku je TBM vybaveno vrtnou soupravou pro osazení svorníků a realizaci průzkumných a injektážních vrtů. Dále se zde nachází také erektor pro montáž KARI sítí a ocelových rámců ze zakružených válcovaných profilů. Instalace stříkaného betonu v oblasti L1 je možná pouze manuálně. V oblasti L2, přibližně 26 m za čelbou tunelu je osazen robotický systém pro instalaci stříkaného betonu s integrovaným sběračem spadu. Systém umožňuje automatické nanášení stříkaného betonu v rozmezí mezi 8 a 4 hodinou, na délce 6 m. Obě oblasti jsou znázorněny na obr. 4.

### 2.3 TBM Elektra vs. Nobel

Ve vlasti slavného Alfreda Nobela, vynálezce dynamitu, se tunelovací stroje stále používají jen zřídka. Tradiční metoda Drill and Blast je obvykle upřednostňována kvůli své flexibilitě a v příznivé skandinávské geologii také vysoké produktivitě. Pro tento typ projektu je však ražba pomocí TBM vhodnou alternativou a byla zvolena z následujících důvodů:

- Rubanina je přepravována pomocí pásového dopravníku, díky čemuž odpadá nutnost razit přístupové tunely. Rubanina se z dopravníku nakládá přímo na nákladní automobily ve startovací kaverně Anneberg, čímž se eliminuje prašnost a negativní dopady spojené s přepravou vytěženého materiálu přes centrum města.
- Tunel je ražen pod hustě obydlenou oblastí, kde legislativa stanovuje přísné limity hluku a vibrací. Zde je výhodou TBM rychlejší postup ražby, což vede ke snížení hlukové zátěže obyvatel.
- Ražba pomocí TBM eliminuje seismické účinky spojené s trhacími pracemi. Metoda je šetrnější a bezpečnější pro citlivé budovy na povrchu.

### 2.4 Hlavní výzvy projektu

Výjimečná kvalita horninového masivu je pro ražbu příznivá z hlediska mechaniky hornin. Extrémní tvrdost, v kombinaci s pevností v tlaku přesahující 200 MPa, jde ruku v ruce s vysokou abrazivitou. To snižuje rychlost postupu a klade zvýšené nároky na řezné disky.

Tyto geologické podmínky jsou také velmi příznivé pro přenos ražbou způsobených vibrací a hluku do konstrukcí na povrchu. Přísné limity vyžadují rozsáhlý akustický monitoring a omezení pracovní doby při ražbě pod hustě obydlenými oblastmi.

Vzhledem k použité technologii ražby tunelu a místním zvyklostem není tunel navržen s vodotěsným ostěním. Přítoky vody do tunelu jsou omezeny pouze předstihovou injektáží. Místní orgány ochrany životního prostředí stanovily relativně přísné limity na kumulativní přítok vody do tunelu, což v kombinaci s vysokým hydrostatickým tlakem (až 12 bar) činí injektáž značně náročnou.



Obr. 3 Vrtné jádro – oblast Strömmen  
Fig. 3 Drill core – Strömmen area

Logistics and material supply is provided by a multi-purpose vehicle on tires, specially designed for the confined space of the driven tunnel and the tunneling machine.

The cutterhead consisting of one segment is equipped with 28 cutting discs with a diameter of 48cm, each of which has a weight of approximately 180kg. A 6m long protective envelope (so-called finger shield – see Fig. 4) is installed to protect the cutting head and personnel from the possible rock fall. The lower part of the envelope is telescopic and serves as a sliding shoe that helps to stabilize the machine against vibrations during excavation.

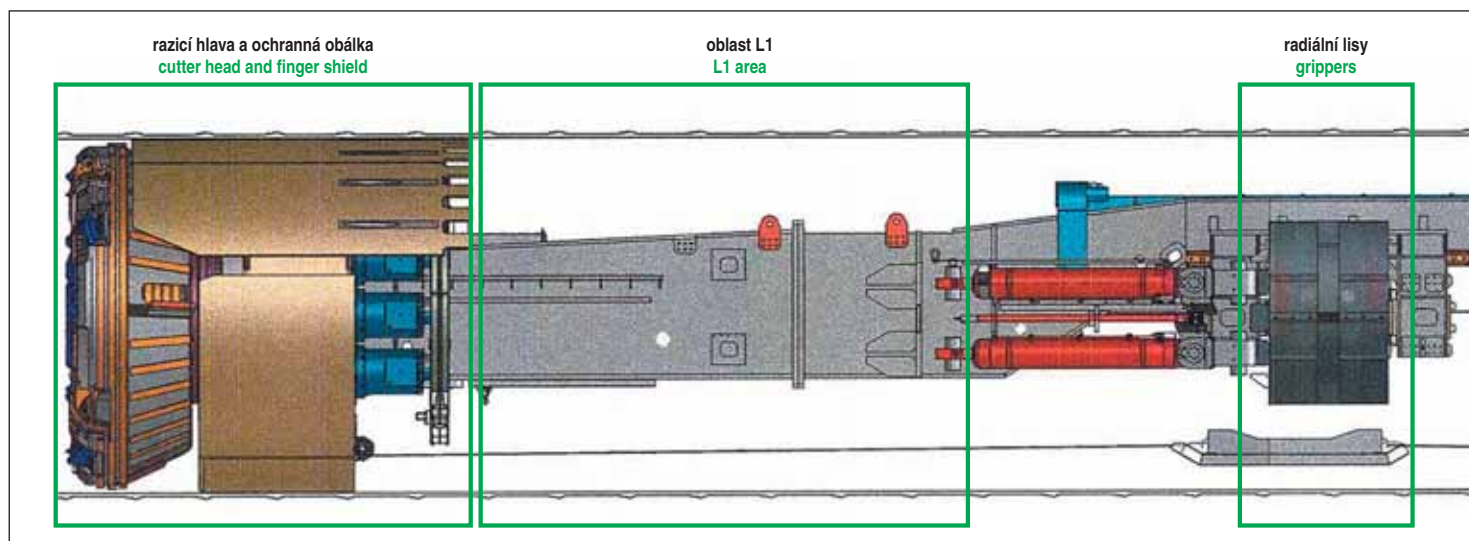
The bracing system consists of a pair of radial grippers, with which the machine braces against the tunnel walls via gripper shoes. In suitable geological conditions, the system can develop a thrust force of up to 14.25MN and a bracing force of 36MN. The maximum length of one stroke is 2m.

The machine allows to install excavation support in two locations, L1 and L2. The L1 location is located directly behind the cutterhead and protective envelope, i.e. approximately 6m behind the face. In this section, the TBM is equipped with a drill rig for the installation of bolts and for the drilling of exploratory and grouting boreholes. There is also an erector for the assembly of wire meshes and curved frames made of steel rolled profiles. Only manual installation of shotcrete in the L1 location is possible. In the L2 location, approximately 26m behind the tunnel face, a robotic system for the installation of shotcrete with an integrated shotcrete rebound collector is installed. The system enables the automatic application of sprayed concrete between 8 and 4 o'clock, over a length of 6m. Both locations are shown in Fig. 4.

### 2.3 TBM Elektra vs. Nobel

In the homeland of the famous Alfred Nobel, the inventor of dynamite, tunneling machines are still rarely used. The traditional Drill and Blast method is usually preferred due to its flexibility and also high productivity, in the favorable Scandinavian geology. However, TBM excavation is a suitable alternative for this type of project and was chosen for the following reasons:

- The muck is transported using a belt conveyor, which eliminates the need to excavate access tunnels. The muck is loaded from the conveyor directly onto trucks in the Anneberg start-up cavern, thereby eliminating the dust and negative impacts associated with the transport of excavated material through the city center.
- The tunnel is excavated under a densely populated area where legislation sets strict noise and vibration limits. Here, the advantage of the TBM is the faster mining progress, which leads to a reduction in the noise burden of residents.



Obr. 4 Části TBM L1 a L2  
Fig. 4 TBM work locations L1 and L2

### 3 ZAJIŠTĚNÍ TUNELU

V realizační fázi projektu byl optimalizován návrh zajištění tunelu tak, aby byla zohledněna specifika konkrétního tunelovacího stroje. Celkem bylo navrženo následujících pět technologických tříd:

- SC I (GSI 100–60) – žádné systematické zajištění, pouze kotvení potenciálně nestabilních bloků svorníky;
- SC II (GSI 59–45) – v oblasti L1: svorníky v rastru 2,2 × 1,5 m, KARI síť D5 75 × 75, v oblasti L2: 50 mm stříkaného betonu na 180°;
- SC III (GSI 44–30) – v oblasti L1: svorníky v rastru 2,2 × 1,0 m, KARI síť D5 75 × 75, v oblasti L2: 100 mm stříkaného betonu na 220°;
- SC IV (GSI 29–20) – v oblasti L1: svorníky v rastru 2,2 × 1,0 m, KARI síť D5 75 × 75 a rám UPN 140 na 110°, v oblasti L2: 100 mm stříkaného betonu na 220°;
- SC V (GSI 19–10) – v oblasti L1: svorníky v rastru 2,2 × 1,0 m, KARI síť D5 75 × 75 a rám HEA 160 na 360°, v oblasti L2: 200 mm stříkaného betonu na 360°.

Návrh zajištění tunelu musí zohlednit omezení daná konstrukcí TBM. Zejména komplikovanou manuální aplikaci stříkaného betonu v oblasti L1, které je třeba se v ideálním případě vyhnout. Proto jsou v oblasti L1 jako primární zajištění instalovány KARI sítě kotvené

- TBM excavation eliminates the seismic effects associated with blasting. The method causes less disturbance and is safer for sensitive buildings on the surface.

#### 2.4 The main challenges of the project

The exceptional quality of the rock mass is favorable for excavation from the point of view of rock mechanics. However, extreme hardness, combined with compressive strength exceeding 200MPa, goes hand in hand with high abrasiveness. This reduces the advance rate and has increased demands on the cutting discs.

The geological conditions also allow propagation of excavation-induced vibrations and noise to structures on the surface. Strict limits require extensive acoustic monitoring and working time restrictions when excavating under densely populated areas.

Due to the tunnel excavation technology used and local customs, the tunnel is not designed with a waterproof lining. Water inflows into the tunnel are controlled only by pre-grouting. Local environmental protection authorities have set relatively strict limits on the cumulative inflow of water into the tunnel, which combined with high hydrostatic pressure (up to 12 bar) makes grouting quite challenging.

### 3 TUNNEL SUPPORT

In the construction phase of the project, the design of tunnel support was optimized to take into account the tunneling machine specifics. The following five technology classes were proposed:

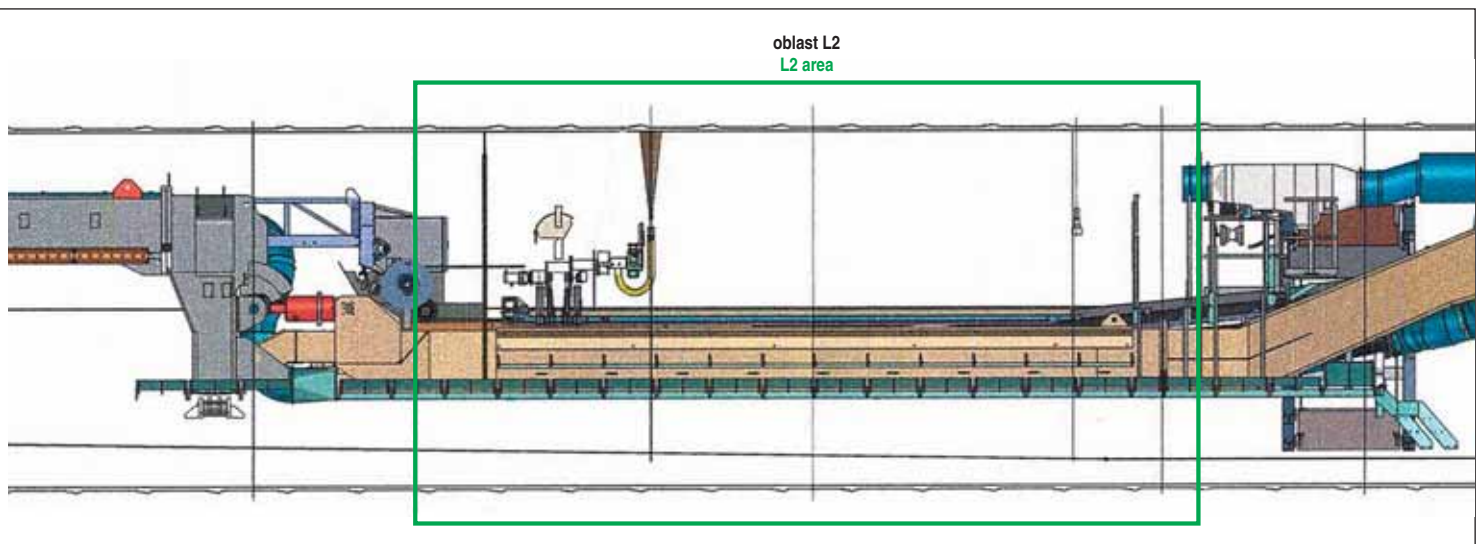
- SC I (GSI 100–60) – no systematic support, only bolting of potentially unstable blocks;
- SC II (GSI 59–45) – in location L1: bolts in grid 2.2 × 1.5m, wire mesh D5 75 × 75, in location L2: 50mm shotcrete at 180°;
- SC III (GSI 44–30) – in location L1: bolts in grid 2.2 × 1.0m, wire mesh D5 75 × 75, in location L2: 100mm shotcrete at 220°;
- SC IV (GSI 29–20) – in location L1: bolts in grid 2.2 × 1.0m, wire mesh D5 75 × 75 and frame UPN 140 at 110°, in location L2: 100mm of shotcrete at 220°;



zdroj: DSI Underground source: DSI Underground

Obr. 5 CT svorník  
Fig. 5 CT bolt





zdroj: Herrenknecht source: Herrenknecht

svorníky. V závislosti na rastru svorníků může KARI síť D5 75 × 75 stabilizovat horninový blok o tíze až 15 kN a tím eliminovat další rozvolňování horninového masivu v blízkosti výrubu [1]. V nepříznivých geologických podmínkách (technologické třídy SC IV a SC V) jsou síť kombinovány s ocelovými rámy ze zakružených válcovaných profilů UPN 140 a HEA 160.

Specifické požadavky jsou kladeny také na svorníky. Svorník musí být únosný ihned po instalaci, zároveň ale musí být dostatečně ochráněn proti korozi, aby byla garantována jeho funkce po celou dobu životnosti tunelu. To vede k použití kombinovaných CT svorníků. Svorník je ihned po instalaci v oblasti L1 ukotven mechanicky pomocí expanzní hmoždinky. Později se v oblasti L2 svorník injektuje pomocí injektážního adaptéru. Dále je svorník opatřen polyethylenovou manžetou, která společně s cementovou zálivkou poskytuje dostatečnou protikorozní ochranu. CT svorník je zobrazen na obr. 5.

#### 4 STATICKÉ VÝPOČTY

Globální stabilita tunelu byla ověřena 2D numerickou analýzou. Každá technologická třída byla ověřena pro odpovídající geotechnické parametry, minimální nebo maximální nadloží a gravitační nebo změřenou primární napjatost. Každá třída tedy byla posouzena celkem čtyřmi numerickými výpočty.

V kvalitních skandinávských horninách ale není kolaps tunelu v důsledku velkých deformací a vyčerpání únosnosti zajištění výrubu příliš častý. Pravděpodobnějším způsobem porušení je vypadnutí nestabilního horninového bloku z klenby nebo opěří tunelu. Uvolnění jednoho bloku pak může vést k postupnému rozvolnění horninového masivu v okolí výrubu, narušení nosného horninového prstence a celkové ztrátě stability.

Kinematická stabilita potenciálně nestabilních bloků vzniklých nepříznivou orientací diskontinuit byla ověřena analýzou v software UnWedge (Rocscience). Každá technologická třída byla ověřena v oblasti L1, tedy s dočasným zajištěním, a v oblasti L2 s instalovaným finálním zajištěním. Při posouzení finálního zajištění byly konzervativně zanedbány účinky primárních napětí, které mají na nestabilní blok příznivý účinek. Na obr. 6 je jako příklad výstupu z analýzy uvedeno posouzení technologické třídy SC III v oblasti L1, tedy se zahrnutým vlivem primárních napětí.

#### 5 POSTUP RAŽBY TUNELU

V době psaní tohoto článku byla vyražena více než polovina tunelu (7,3 km v červenci 2023). Pro koordinaci všech zainteresovaných osob je každé dva týdny pořádán tzv. „production meeting“,

- SC V (GSI 19–10) – in location L1: bolts in grid 2.2 × 1.0m, wire mesh D5 75 × 75 and HEA 160 frame at 360°, in location L2: 200mm of shotcrete at 360°.

The tunnel support design must take into account the limitations imposed by the TBM structure. In particular, the complicated manual application of shotcrete in the L1 location, which should be avoided. Therefore, bolted wire meshes are installed in the L1 location as primary support. Depending on the grid of the bolts, wire mesh D5 75 × 75 can stabilize a rock block weighing up to 15kN and thus eliminate further rock loosening in the vicinity of excavation [1].

In unfavorable geological conditions (support classes SC IV and SC V), the meshes are combined with round frames from steel rolled profiles UPN 140 and HEA 160.

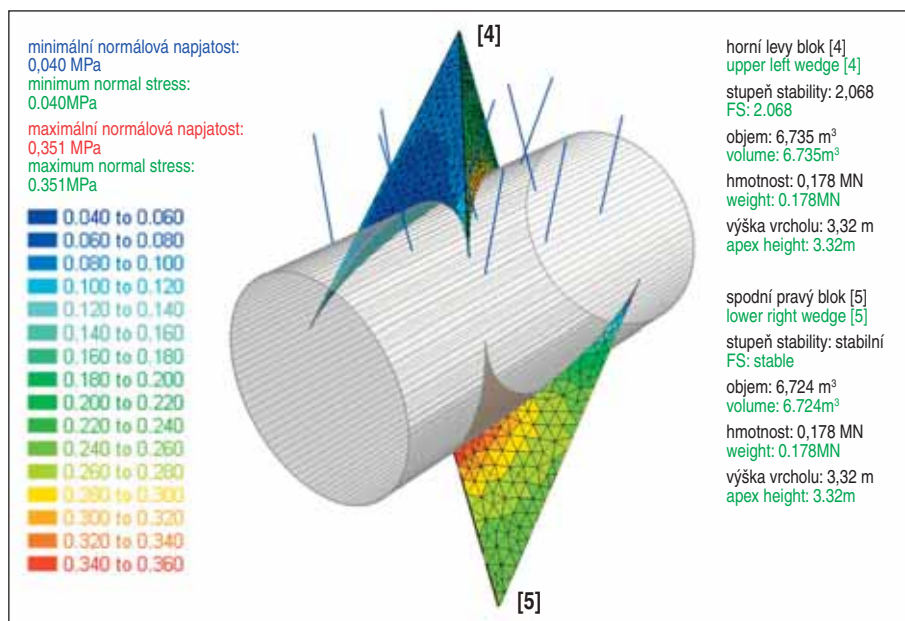
Specific requirements are also placed on bolts. The bolt must be load-bearing immediately after installation, but at the same time it must be sufficiently protected against corrosion in order to guarantee its function throughout the lifetime of the tunnel. This leads to the use of combination CT bolts. Immediately after installation, the bolt is mechanically anchored in the L1 location using an expansion shell. Later, in the L2 location, the bolt is injected using an injection adapter. Furthermore, the bolt is equipped with a polyethylene sleeve, which, together with the cement grout, provides sufficient anti-corrosion protection. The CT bolt is shown in Fig. 5.

#### 4 STATIC CALCULATIONS

The global stability of the tunnel was verified by 2D numerical analysis. Each support class was verified for the corresponding geotechnical parameters, minimum or maximum overburden and geostatical or measured primary stresses. Therefore, each class was verified with a total of four numerical calculations.

However, in high-quality Scandinavian rocks, tunnel collapse due to large deformations or by exceeding the support bearing capacity is not very common. A more likely failure mode is the fall of an unstable rock block from a tunnel vault or abutment. The loosening of one block can then lead to the gradual loosening of the rock mass around the excavation, disruption of the rock arching and a total loss of stability.

The kinematic stability of potentially unstable blocks created by the unfavorable orientation of discontinuities was verified by analysis in the UnWedge software (Rocscience). For each technology class, the primary support was verified in the L1 location, and the final support in the L2 location. The impact of



Obr. 6 Kinematická stabilita horninového bloku

Fig. 6 Kinematic stability of a rock block

což je obdoba rady monitoringu známé z českých tunelových staveb. Na těchto schůzkách se diskutuje hydrogeologický a akustický monitoring, injektáž a měření přítoků vody do tunelu a v neposlední řadě také instalované zajištění tunelu v kontextu dat zaznamenaných v průběhu ražby TBM.

V následující části příspěvku jsou stručně shrnuty postřehy projektanta z realizační fáze díla.

### 5.1 Injektáž a opatření pro omezení přítoků do tunelu

Většina budov ve Stockholmu a blízkém okolí je založena na vrstvách mořských jíílů, kde i malý pokles pórových tlaků může vyvolat významné sedání s důsledky na infrastrukturu a budovy na povrchu. Aby se těmto negativním dopadům výstavby tunelu zabránilo, jsou místními orgány ochrany životního prostředí stanoveny limity pro kumulativní přítok vody do tunelu. Dodržování těchto limitů je kontrolováno jak v průběhu výstavby, tak po celou životnost tunelu.

Dlouhodobý limit kumulativního přítoku je stanoven v průměru 10 l/min na 100 m tunelu a liší se v závislosti na lokální míře rizika. Jedná se o poměrně přísný požadavek, jehož výsledkem je téměř suchý tunel. Aby byly tyto požadavky splněny, realizují se každých 15 m vějíř předstihové injektáže do předpolí čelby (tzv. „pre-grouting“). Délka injektážních vrtů je až 25 m a injektáž se řídí podle časových, průtokových a tlakových kritérií na základě požadované injektážní třídy. V místech, kde předstihová injektáž nepostačuje pro splnění limitů, je realizována dodatečná injektáž za TBM (tzv. „post-grouting“).

Injektáže jsou ve Skandinávii samostatným oborem a na jejich návrhu a realizaci se podílí týmy vysoce specializovaných inženýrů. Jedná se tedy o komplikovanou problematiku, jejíž rozsah by vydal na samostatný článek.

### 5.2 Průzkumné vrty a vodní tlakové zkoušky

Každých 18 metrů ražby se pomocí vrtné soupravy osazené v L1 provádí 25 m dlouhé rozbíhavé dovrchní vrty pod úhlem 5,5°. Tyto vrty slouží k provádění vodních tlakových zkoušek a zároveň také k predikci vlastností horninového masivu.

Během vrtání jsou pomocí systému MWD („Measure While Drilling“) zaznamenávány jeho parametry, jako rychlost otáčky nebo přítlak. Následně jsou tato data interpretována a analyzována. Z dat

insitu stress, which have a favorable influence on the rock block stability, was conservatively neglected in the verification of the final support. Fig. 6 shows the verification of technology class SC III in the L1 location as an example of the analysis output, i.e. with the insitu stress included.

## 5 TUNNELING ADVANCE

At the time of writing this paper, more than half of the tunnel has been driven (7.3km by July 2023). For the coordination of all interested parties, a so-called “production meeting” is held every two weeks, which is similar to the monitoring board known in Czech tunnel construction. At these meetings, hydrogeological and acoustic monitoring, grouting and measurement of water inflows into the tunnel and, last but not least, also the installed tunnel support are discussed in the context of the data recorded during TBM excavation.

In the following, the designer’s observations of the construction phase are briefly summarized.

### 5.1 Grouting and measures to limit inflows into the tunnel

Most of the buildings in and around Stockholm are founded on layers of marine clays, where even a small drop in pore pressures can cause significant settlement with consequences for infrastructure and buildings on the surface. To prevent these negative impacts of tunnel construction, local environmental protection authorities set limits for the cumulative inflow of water into the tunnel. Adherence to these limits is checked both during construction and throughout the lifetime of the tunnel.

The long-term cumulative inflow limit is set at an average of 10L/min per 100m tunnel and varies depending on the local level of risk. This is a fairly strict requirement, resulting in an almost dry tunnel. In order to meet these requirements, fan-shaped grouting is carried out every 15m in the forefield of the face (so-called “pre-grouting”). The length of the grouting boreholes is up to 25m and the grouting is controlled by the time, flow and pressure criteria in correspondence to required grouting class. In places where pre-grouting is not sufficient to meet the limits, additional grouting behind the TBM (so-called “post-grouting”) is realized.

Grouting is a separate profession field in Scandinavia, and teams of highly specialized engineers participate in grouting design and construction. It is therefore a complex issue, the scope of which would require a separate publication.

### 5.2 Exploratory boreholes and water pressure tests

Every 18 meters of excavation, 25m long boreholes at an angle of 5.5° are performed using a drill rig installed in L1. These boreholes serve to perform water pressure tests and at the same time to predict the properties of the rock mass.

During drilling, its parameters such as penetration, revolutions or pressure are recorded using the MWD (“Measure While Drilling”) system. Subsequently, these data are interpreted and analyzed. From the data obtained from at least four boreholes, a geological forecast for the next approximately 20m of excavation is compiled on the basis of empirical relationships and criteria. On an ongoing basis, the forecasts are compared with the actually encountered geology,



získaných z minimálně čtyř vrtů je pak na základě empirických vztahů a kritérií sestavena geologická prognóza pro dalších přibližně 20 m ražby. Průběžně jsou prognózy zpětně porovnávány se skutečně zastíženou geologií, vztahy a kritéria jsou tak kalibrovány pro dosažení co nejpřesnějších prognóz.

Vodní tlakové zkoušky se provádí v jedné etáži utěsněním vrtu jednoduchým obturátorem v hloubce 8 m. Dle výsledků zkoušky je pak stanovena nebo upřesněna injektážní třída.

Data jsou na TBM v průběhu ražby zaznamenávána každých 20 sekund a jsou přístupná v reálném čase prostřednictvím aplikace Tunneling Process Control od společnosti Tunnelsoft. Vyhodnocování jsou především následující parametry:

- rychlost postupu [mm/min];
- penetrace [mm/ot];
- krouticí moment [MN/m];
- přítlak [MN].

Základní představu o geologických podmínkách lze získat pouhým pozorováním hodnot přítlaku razičí hlavy. K poklesu přítlaku obvykle dochází, když TBM prochází poruchovou zónou. Pro přesnější a komplexnější odhad zastížené geologie se však využívají následující parametry:

- jednoosá pevnost v tlaku [MPa], určená dle empirického Gehringova modelu [2];
- specifická penetrace [mm/kN\*rev], na základě [3];
- faktor krouticího momentu [-], stanovený na základě [4].

Otevřená konstrukce TBM umožňuje vizuální kontrolu líce výrubu a podrobnou geologickou dokumentaci ražby. Kvalitní geologická dokumentace je s výhodou použita k nalezení korelace mezi výše uvedenými parametry a zastíženou geologií a k definování mezních a varovných hodnot. Pro dosažení co nejrelevantnějších výsledků je však nutná pravidelná kalibrace a kritické zhodnocení empiricky vypočtených parametrů.

## 6 ZÁVĚR

Pod městem Stockholm se pomocí otevřeného Gripper TBM razí kabelový tunel, který místní přezdívají „dálnice pro elektřinu“. Tato pro Švédsko netradiční tunelovací metoda prokázala svou vhodnost pro tento typ projektu navzdory výzvám, které představují například přísné limity přítoku vody do tunelu nebo extrémně pevné horniny.

Ražba tunelu probíhá bez výraznějších technických problémů a s velkým důrazem na bezpečnost práce a ochranu zdraví pracovníků. To je krásně vystiženo sloganem na plakátech rozmístěných po stavěništi: „*Safety first ...and then as fast as possible to Skanstull*“.

*Ing. JIŘÍ UMLAUF,*  
*jumlauf@amberg.cz, AMBERG Engineerig Brno, a.s.,*  
*Ing. JAN VESELÝ, Ph.D.,*  
*jvesely@amberg.ch, AMBERG Engineering AG*

Recenzoval *Reviewed by: prof. Ing. Jiří Barták, Dr.Sc.*

relationships and criteria are thus calibrated to achieve the most precise forecasts.

Water pressure tests are performed at one stage by sealing the borehole with a single obturator at a depth of 8m. The grouting class is then determined or refined according to the test results.

The machine records the data every 20 seconds during excavation which can be accessed in real-time via Tunnelsoft's Tunneling Process Control application. The following parameters are mainly evaluated:

- advance speed [mm/min];
- penetration [mm/rev];
- torque [MN/m];
- thrust force [MN].

A basic idea of the geological conditions can be obtained simply by observing the data values of the cutterhead. A drop in the thrust usually occurs when the TBM passes through a fault zone. However, the following parameters are used for a more accurate and comprehensive estimate of the geology encountered:

- uniaxial compressive strength [MPa], determined according to the empirical Gehring model [2];
- specific penetration [mm/kN\*rev], based on [3];
- torque factor [-], based on [4].

The open structure of the TBM allows visual inspection of the excavation face and detailed geological documentation of the excavation. High-quality geological documentation is preferably used to find the correlation between the above parameters and the geology encountered and to define limit and warning values. However, in order to achieve the most relevant results, regular calibration and critical evaluation of empirically calculated parameters is necessary.

## 6 CONCLUSION

Under the city of Stockholm, a cable tunnel is being excavated using an open Gripper TBM, which the locals call the “highway for electricity”. This tunneling method, which is unusual for Sweden, proved its suitability for this type of project despite the challenges posed by, for example, strict limits on water inflow into the tunnel or extremely hard rock.

Excavation of the tunnel takes place without significant technical problems and with great emphasis on occupational safety and health protection of workers. This is beautifully captured by the slogan on the posters spread around the construction site: “*Safety first ...and then as fast as possible to Skanstull*”.

*Ing. JIŘÍ UMLAUF,*  
*jumlauf@amberg.cz, AMBERG Engineerig Brno, a.s.,*  
*Ing. JAN VESELÝ, Ph.D.,*  
*jvesely@amberg.ch, AMBERG Engineering AG*

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] DOLINAR, D. R. Performance characteristics for welded wire screen used for surface control in underground coal mines. In: *Proceedings of Society for Mining, Metallurgy and Exploration; SME annual meeting & exhibit, and CMA's 111<sup>th</sup> National Western Mining Conference 2009*. Denver: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME), 2009, s. 659–666. ISBN 9781615671533.
- [2] GEHRING, K. H., Leistungs- und Verschleißprognose im maschinellen Tunnelbau, In *Felsbau 13*, 1994, Nr. 6, s. 439–448.
- [3] BRULAND, A. *Hard rock tunnel boring*. Trondheim, 1998. Disertační práce. Norwegian University of Science and Technology.
- [4] RADONCIC, N., B. MORITZ. Determination of the system behaviour based on data analysis of a hard rock shield TBM/Analyse der Maschinenparameter zur Erfassung des Systemverhaltens beim Hartgesteins-Schildvortrieb. *Geomechanik und Tunnelbau*, 2014, 7(5), 565–576. ISSN 1865-7362.

# PRŮZKUMNÉ PRÁCE V TRASE PROJEKTOVANÉHO TUNELU DĚTŘICHOV

## EXPLORATORY OPERATIONS ALONG THE DĚTŘICHOV TUNNEL ROUTE UNDER DESIGN

PETR MAZÁČ, PAVEL KLÍMA, PETRA JAKUBOVÁ

### ABSTRAKT

Článek přibližuje problematiku průzkumu pro vedení tunelu Dětrichov přes Hřebečský hřbet, tvořený chemicky zvětralými permjskými horninami a třemi křídovými souvrstvími s výskytem uhelných vrstev i specifickým kostičkovým rozpadem slínovců jizerského souvrství. V článku jsou popsány základní projektované parametry tunelu Dětrichov, stručně charakterizována jednotlivá zastížená souvrství a objasněna potřeba geotechnického rozdělení tunelu na třináct kvazihomogenních celků a šestnáct dílčích úseků. V některých částech se článek zabývá také geotechnickými vlastnostmi hornin a celého horninového masivu, včetně hydrogeologické problematiky. Pro ni mají velký význam hlavně úložné poměry sedimentů, charakter puklinové sítě, a především pak přítomnost zlomových struktur. Poznatky vycházejí z doplňujícího průzkumu, který pro projektovaný tunel Dětrichov realizovala společnost SG Geotechnika a.s. v letech 2021 až 2023.

### ABSTRACT

The paper presents the problems of exploration for the Dětrichov tunnel through the Hřebeč ridge, formed by chemically weathered Permian rock and three Cretaceous formations with the occurrence of coal seams and specific cubic disintegration of the Iser River formation marlite. The paper describes the basic design parameters of the Dětrichov tunnel, briefly characterises the individual formations encountered and explains the need for geotechnical division of the tunnel into thirteen quasi-homogeneous units and sixteen sub-sections. In parts, the paper also deals with the geotechnical properties of rock types and the whole rock massif, including hydrogeological issues. The mode of sediment deposition conditions, the nature of the joint network, and especially the presence of fault structures are of great importance. The findings are based on a supplementary survey carried out by SG Geotechnika a.s. for the Dětrichov tunnel under design between 2021 and 2023.

### 1. ÚVOD

Dálnice D35 bude po svém dokončení tvořit severní spojení Čech a Moravy a poskytne (spolu s dálnicí D11) alternativu k dálnici D1, v současnosti přetížen. Jedním z úseků D35 je také projektovaný úsek Opatovec – Staré Město s tunelem Dětrichov. Tunel klesá z 514 m n. m. směrem na východ do 439 m n. m. s nejvyšší výškou nadloží 173 m v oblasti komplexu lesních porostů Mladějovského vrchu (647 m n. m.), který je součástí tzv. Hřebečského hřbetu. Jedná se morfologicky o kuestu (asymetrický vrchol hory nebo hřebenu, tvořeného mírně ukloněnými vrstvy odolných hornin), se strmým svahem obráceným k východu a v týlové části kuesty s mírně ukloněným svahem orientovaným k západu. V čele kuesty vystupují křídové sedimenty turonu a cenomanu, na jejím úpatí pak sedimenty permu orlické pánve. Týlová část kuesty přesně kopíruje úklon křídových vrstev.

Jedná se o dálniční tunel o délce 3987,5 m obsahující dvě tunelové trouby, každou o šířce vozovky 8 m se směrově rozděleným provozem. Kategorie tunelu dle ČSN 73 7507, čl. 4.2.5, příp. TP98 kap. 2 je TA a návrhová kategorie dálnice D26,0/130 (ve smyslu ČSN 73 6101, Tabulka 4). Metoda výstavby tunelu je kombinovaná. Skládá se z úseku raženého, prováděného konvenční cyklickou ražbou Novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM), a navazujících hloubených portálových částí.

Ražená část tunelu bude realizována dle zásad NRTM ve složitých geologických a geotechnických podmínkách (tektonické poruchy, nízké nadloží v připořálových oblastech, přítomnost málo únosných hornin). Hloubené úseky tunelu, o celkové délce cca 250 m, navazují z obou stran na raženou část tunelu a končí vyústěním do Pardubického portálu (s přílehlým hloubeným úsekem

### 1. INTRODUCTION

When completed, the D35 motorway will form the northern link between Bohemia and Moravia and will provide (together with the D11 motorway) an alternative to the D1 motorway, which is currently congested. One of the D35 sections is also the planned Opatovec – Staré Město section containing the Dětrichov tunnel. The tunnel descends from 514m a.s.l. towards the east to 439m a.s.l. with the greatest overburden height of 173m in the area of the Mladějovský Hill forest complex (647m a.s.l.), which is part of the so-called Hřebeč ridge. It is morphologically a cuesta (asymmetrical mountain peak or ridge formed by slightly inclined layers of resistant rock), with a steep slope facing east and a slightly inclined slope in the rear part of the west-facing cuesta.

At the head of the cuesta there are the Cretaceous sediments of the Turonian and Cenomanian periods, and at its foot, the Permian sediments of the Adler River Basin. The tail part of the cuesta exactly follows the dip of the Cretaceous strata.

The tunnel is a 3987.5m long motorway structure containing two tunnel tubes, each 8m wide, with directionally divided traffic. The tunnel category according to ČSN 73 7507 standard, Article 4.2.5, or Technical Specifications TP98, Chapter 2, is the TA and the design category of the motorway is D26.0/130 (according to ČSN 73 6101, Table 4). The tunnel construction method is combined. It consists of a mined section, carried out by conventional cyclic system using the New Austrian Tunnelling Method (NATM), and subsequent cut-and-cover portal sections.

The mined part of the tunnel will be constructed according to the NATM principles in complex geological and geotechnical conditions (tectonic faults, low overburden in the near-portal areas, presence of low bearing capacity rock types). The cut-and-cover sections of



délky 162,5 m HT2), resp. do olomouckého portálu (s hloubeným úsekem délky 87,5 m HT16).

Tunel Dětrichov je projektován na patkách, s otevřeným (deštníkovým) hydroizolačním systémem a podélnou drenáží. Tunel je v převážné délce navržen podkovovitě tvaru, tzn. bez spodní klenby; spodní klenba je navržena pouze v silně zvětralých nebo tektonicky porušených oblastech.

Ražba tunelů je navržena od obou portálů. Protože ražba na olomouckém portálu bude prováděna proti směru staničení, je zavedeno pojmenování „severní“ a „jižní“ tunelová trouba.

## 2. PROJEKTOVANÉ PARAMETRY TUNELU

### 2.1 Ražená část

Výška průjezdního profilu je navržena 4,80 m (dle ČSN 73 7507, kap. 8.2.2), světlá podjezdná výška v tunelu min. 4,95 m. V převážné délce tunelu je příčný profil výrubu podkovovitý a v kritických oblastech s protiklenbou (např. ve zvětralých a tektonicky porušených oblastech). Světlná plocha typického průřezu výrubu TT je cca cca 93 m<sup>2</sup>.

U tunelů je navrženo dvouplášťové ostění (primární a sekundární), s mezilehlou foliovou izolací (deštníkový systém). Primární ostění bude standardně prováděno ze stříkaného betonu vyztuženého ocelovými svařovanými sítěmi a příhradovými oblouky z betonářské výztuže a systémovým kotvením horninovými svorníky. Zajištění kaloty v TTV 5b je doplněno o rozšířené paty opěří kaloty a deštníky z IBO svorníků (v portálové variantě označované jako TTV 5b-P s mikropilotovým deštníkem). TTV 5a a TTV 5b je navíc řešena ve variantě s protiklenbou (označena jako TTV 5a-O, resp. TTV 5b-O).

Sekundární ostění je navrženo z monolitického železobetonu (eventuálně může být provedeno z prostého betonu, pokud se prokáže dostatečná únosnost ve skutečně zastíženém geologickém prostředí). Ostění bude betonováno do ocelového posuvného bednění (bednicího vozu) po jednotlivých blocích. Každý blok bude betonován ve dvou krocích, nejprve základové patky (eventuálně spodní klenba) a až poté vlastní klenba tunelu.

### 2.2 Hloubené části

Vnitřní líc ostění hloubených úseků plynule navazuje na raženou část tunelu. Ostění je železobetonové (ŽB) monolitické, podkovovitě tvaru, v obou úsecích uloženo na základových pasech. Předpokládá se betonáž s využitím posuvného ocelového bednění (bednicího vozu) po jednotlivých blocích. Betonáž probíhá ve dvou krocích, nejprve se vybetonují průběžné základové patky a až poté vlastní klenba tunelu.

Tloušťka ostění ve vrcholu klenby je 600 mm a směrem k základovým patkám se postupně rozšiřuje. Základové patky jsou vysoké 700 mm.

Vodonepropustnost hloubených úseků je primárně zajištěna hydroizolační fólií uloženou na vnějším líci tunelového ostění. Mimo to jsou příčné spáry mezi ŽB bloky těsněny vnitřními spárovými pásy instalovanými do styčných ploch, přibližně 300 mm od vnitřního líce ostění [4].

### 2.3 Tunelové propojky

V SO 09-601 Tunel Dětrichov jsou navrženy tři typy propojek. Jedná se o tunelové propojky pro pěší (9 ks), tunelové propojky průjezdné (4 ks) a tunelové propojky technologické (2 ks).

Průchozí prostor tunelové propojky pro pěší je široký min. 2,0 m s výškou min. 2,4 m. Tunelová propojka průjezdná je min. 6,0 m široká s vyznačenými nouzovými pruhy po obou stranách min. šířky 0,75 m. Technologické tunelové propojky jsou navrženy ve stejném profilu jako ty průjezdné [4].

the tunnel, with a total length of approx. 250m, connect on both sides to the mined part of the tunnel and end at the Pardubice portal with an adjacent 162.5m long cut-and-cover section (HT2), or at the Olomouc portal with an 87.5m long cut-and-cover section (HT16).

The Dětrichov tunnel is designed to be founded on footings, with an open (umbrella) waterproofing system and longitudinal drainage. The horseshoe shape is designed for the majority of the tunnel length, i.e. without an invert; the invert is designed only in heavily weathered or tectonically faulted areas.

Tunnelling is proposed to proceed from both portals. Since the excavation at the Olomouc portal will proceed against the direction of the chainage, the names „north“ and „south“ tunnel tubes are introduced.

## 2. TUNNEL DESIGN PARAMETERS

### 2.1 Mined part

The clearance profile is designed to be 4.80m high (according to ČSN 73 7507, ch. 8.2.2), the vertical clearance in the tunnel is at least 4.95m high. In majority of the tunnel length, the cross-section of the excavation is horseshoe-shaped and in critical areas with an invert (e.g. in weathered and tectonically faulted areas). The clearance area of a typical TT excavation cross-section is approximately 93m<sup>2</sup>.

The tunnels are designed with double-shell lining (primary and secondary liners), with intermediate waterproofing membrane (an umbrella system). The primary lining will be carried out in a standard way using shotcrete reinforced with welded steel mesh and lattice girders made from concrete reinforcement and an anchoring system with rock bolts. The top heading support in the TTV 5b rock mass class is supplemented by the extended width of the bench abutment and umbrellas made using IBO rockbolts (in the portal variant referred to as TTV 5b-P with the micropile umbrella). In the TTV 5a and TTV 5b classes it is in addition solved in a variant with an invert (marked as TTV 5a-O, resp. TTV 5b-O).

The monolithic reinforced concrete is proposed for the secondary lining (it can be made of plain concrete if sufficient load-bearing capacity is proven in the actually encountered geological environment). The lining will be concreted using steel sliding formwork (formwork traveller) in individual concrete blocks. Each block will be concreted in two steps, first the footings (possibly the invert) and then the tunnel vault itself.

### 2.2 Cut-and-cover parts

The inner face of the lining of the cut-and-cover sections is smoothly connected to the mined part of the tunnel. The horseshoe-shaped lining is made of monolithic reinforced concrete (RC), in both sections placed on strip footings. Sliding formwork (formwork traveller) is planned for individual blocks. The concreting is carried out in two steps, first the continuous footings are concreted and then the tunnel vault itself.

The lining at the top of the vault is 600mm thick and thickness gradually increases towards the footings. The footings are 700mm high.

The waterproofing capacity of the cut-and-cover sections is primarily ensured by a waterproofing membrane installed on the outer face of the tunnel lining. In addition, the transverse joints between the reinforced concrete blocks are sealed with internal waterstops installed on the contact surfaces, approximately 300mm from the inner face of the lining [4].

## 2.4 Nouzové zálivy

V tunelu Dětrichov jsou navrženy nouzové zálivy splňující požadavky ČSN 73 7507. Jsou vždy řešeny v rámci pěti 12,5 m dlouhých betonážních bloků sekundárního ostění s tím, že vždy ve třetím betonážním bloku je umístěn vstup do průjezdné tunelové propojky [4].

## 3. VYMEZENÍ GEOTYPŮ V TRASE TUNELU

V rámci podrobného geotechnického průzkumu bylo provedeno 22 ks jádrových vrtů do hloubky 40 až 185 m. U olomouckého portálu byly realizovány čtyři nové inklinometrické a dva vsakovací vrty. Hydrogeologických vrtů s odizolovanými kolektory vod bylo vystrojeno celkem 16 ks o hloubce 30 až 140 m s výstrojí o průměru 125 mm. Ve vybraných inženýrskogeologických vrtech byl proveden soubor karotážních měření a v hydrogeologických vrtech byly realizovány hydrodynamické zkoušky. Doplnkovou informaci tvořilo 10 ks příčných a jeden podélný geofyzikální profil.

Tímto průzkumem bylo potvrzeno, že trasa tunelu povede sedimentárními horninami permu a svrchní křídly překrytými směrem do nadloží mladšími kvartérními uloženinami.

Vymezení jednotlivých geotechnických typů je převzaté z výsledků podrobného geotechnického průzkumu [3] a respektuje systém názvosloví ČSN 73 6133, ale v zásadě se opírá o stratigrafické a genetické hledisko. Prvotní rozdělení stratigrafické vymezuje skupinu kvartérních zemin, křídových a permských hornin

## 2.3 Tunnel cross passages

Three types of cross passages are designed for the SO 09-601 Dětrichov tunnel. There will be pedestrian cross passages there, vehicular cross passages and service cross passages.

The minimum space of a cross passage passable for pedestrians is 2.0m wide and 2.4m high. The tunnel cross passage for vehicles is 6.0m wide as a minimum, with emergency lanes marked on both sides. The service cross passage profile design is identical with that of the vehicular ones.

## 2.4 Emergency lay-bys

Emergency lay-bys meeting requirements of the ČSN 73 7507 standard are proposed for the Dětrichov tunnel. They are always designed within the framework of five 12.5m long concreting blocks of the secondary lining, with the entrance to the vehicular cross passage placed in the third concreting block.

## 3. DEFINITION OF GEOTYPES ON THE TUNNEL ROUTE

As part of the detailed geotechnical survey, 22 cored boreholes were drilled to a depth of 40 to 185m. Four new inclinometer boreholes and two absorbing holes were drilled at the Olomouc portal. A total of 16 boreholes with isolated aquifers were drilled down to the depth of 30 to 140m, with a 125mm-diameter casing. A set of logging measurements was performed in selected engineering geological boreholes and hydrodynamic tests were carried

Tab. 1 Rozdělení zastížených souvrství v návaznosti na geotechnické typy

Souvrství	Stratigrafické zařazení	Litologická charakteristika	Geneze	Symbol geotypu	Zařazení geotypu dle tříd (x)
Jizerské	křída – střední turon	<ul style="list-style-type: none"> <li>vápňité glaukonitické pískovce a vápňité prachovce</li> <li>na bázi tmavě-šedé, kostkově rozpadavé slínovce (mocnost vrstvy 30–40 m)</li> </ul>	marinní/ lagunární sedimenty	Kj	5.x(p, s) 6.x(j)
Bělohorské	křída – spodní – střední turon	<ul style="list-style-type: none"> <li>jílovec/prachovec – spongilitický slínovec/prachovec – vápňitý pískovec (mocnost vrstvy 60–70 m)</li> </ul>	marinní/ lagunární sedimenty	Kb	5.x(p, s)
Korycanské	křída – cenoman	<ul style="list-style-type: none"> <li>glaukonitické jílovitoprachovité pískovce (středně až hrubozrné) (mocnost 5–10 m)</li> <li>na bázi jemnozrné křemenné pískovce (mocnost 1–5 m)</li> </ul>	mělkomořské prostředí	Kp	7.x(p)
Perucké	křída – cenoman	<ul style="list-style-type: none"> <li>pisčitojílovité sedimenty</li> <li>polohy uhelných slojek</li> </ul>	lagunární/ estuáriové prostředí	Kp	5.x(s) 6.x(j)
Permské uložení	perm – saxonské stáří	<ul style="list-style-type: none"> <li>pod bázi křídly arkózoové pískovce odbarvené do běla až bělošeda (důsledek kaolinického zvětrávání)</li> <li>červenohnědé, středně-hrubozrné pískovce</li> </ul>	suchozemské marinní sedimenty	Ps Pc	7.x 7.x

Poznámka: x = 1 (eluvium; tř. R6 dle ČSN 73 6133); x = 2: tř. R5; x = 3: tř. R4; x = 4: tř. R3; x = 5: tř. R2; symbol za třídou = p – pískovce; s – prachovce; j – jílovec, slínovec

Table 1 Distribution of encountered strata in relation to geotechnical types

Formation	Stratigraphical classification	Lithological characteristics	Genesis	Geotype Symbol	Geotype classification (x)
Iser	Cretaceous – Middle Turonian	<ul style="list-style-type: none"> <li>calcareous glauconitic sandstone and calcareous siltstone</li> <li>on dark grey base, cubically breaking marlite (30–40m thick strata)</li> </ul>	marina/ lagoonal sediments	Kj	5.x(p, s) 6.x(j)
Bílá Hora	Cretaceous – Lower – Middle Turonian	<ul style="list-style-type: none"> <li>claystone/siltstone – spongolitic marlite/siltstone – calcareous sandstone (60–70m thick strata)</li> </ul>	marina/ lagoonal sediments	Kb	5.x(p, s)
Korycany	Cretaceous – Cenomanian	<ul style="list-style-type: none"> <li>glauconitic clayey-silty sandstone (medium to coarse grained) (5–10m thick)</li> <li>on finely grained quartzose sandstone base (1–5m thick)</li> </ul>	shallow sea environment	Kp	7.x(p)
Peruc	Cretaceous – Cenomanian	<ul style="list-style-type: none"> <li>sandy clayey sediments</li> <li>coal interbeds</li> </ul>	lagoonal/estuarine environment	Kp	5.x(s) 6.x(j)
Permian deposits	Permian – Saxon age	<ul style="list-style-type: none"> <li>arcose sandstone decoloured to white to white-grey under Cretaceous base (consequence of kaolinic weathering)</li> <li>reddish brown, medium-coarse grained sandstone</li> </ul>	terrestrial marina sediments	Ps Pc	7.x 7.x

Note: x = 1 (eluvium; class R6 according to ČSN 73 6133); x = 2: class R5; x = 3: class R4; x = 4: class R3; x = 5: class R2; symbol behind class = p – sandstone; s – siltstone; j – claystone, marlite



(viz symbol geotypu v tab. 1). Podrobnější rozčlenění do geotechnických podtypů se pak opírá i o fyzikálně-mechanické vlastnosti zemin a hornin. U zemin se jedná především o zrnitost a u hornin pak o litologii, genezi (5.X – jemnozrnné pískovce a prachovce; 6.X – slínovce a jílovce; 7.X – středně až hrubozrnné pískovce) a pevnost horniny (X.1 až X.5, odpovídá tř. R6 až R2).

Skalní podloží zájmové oblasti je křídového a permského stáří. Jednotlivá souvrství jsou popsána v tab. 1, a to ve sledu od nejmladších (vrchních) vrstev po nejstarší (spodní) vrstvy. Souvrství vykazují mírný sklon k západu.

#### 4. ROZDĚLENÍ TRASY DO KVAZIHOMOGENNÍCH CELKŮ

Celá trasa tunelu Dětrichov byla v rámci zpracování doplňujícího geotechnického průzkumu rozčleněna na základě získaných poznatků do zcela nových třinácti kvazihomogenních celků, viz tab. 2. Jedenáct z nich spadá do ražené části tunelu (členění dle podrobného průzkumu na úseky označené RT3 až RT15) a dva náleží hloubeným úsekům tunelu (označeny HT2 a HT16).

Každý kvazihomogenní celek zahrnuje jeden až dva úseky (RT) z podrobného průzkumu, přičemž hranice úseků buď odpovídají podrobnému průzkumu, nebo jsou mírně posunuté (obr. 1). Pouze samotný úsek RT6 byl rozdělen na dvě části kvůli začlenění celku KHC-4 mezi dvě části celku KHC-3.

Z tab. 2 vyplývá, že dle indexu RMR je horninový masiv hodnocen v celé délce jako uspokojivý (III. třída klasifikace podle Bieniawského, 1989).

Horniny třídy IV. (slabé horniny, index RMR 32 až 40) se vyskytují v kvazihomogenních celcích KHC-7, KHC-8 a KHC-11. Jedná se o horniny peruckých vrstev (geotyp Kp6j), kaoliniticky zvětralou svrchní část permu pod uhelnými peruckými vrstevy (Ps7.0) a zvětralé horniny permských pískovců tř. R5, dle ČSN 73 6133 (Ps7.2 a Pc7.2).

Nejllepší kvalitu hornin dle indexu RMR vykazují křídové horniny

out in hydrogeological boreholes. Additional information consisted of 10 transverse profiles and one longitudinal geophysical profile.

This survey confirmed that the tunnel route will run through sedimentary rock types of the Permian and Upper Cretaceous periods, overlain by younger Quaternary deposits towards the overburden.

The definition of the individual geotechnical types is taken over from the results of a detailed geotechnical survey [3] and respects the nomenclature system of the ČSN 73 6133 standard, but is essentially based on stratigraphic and genetic aspects. The primary stratigraphic division defines a group of Quaternary soils, Cretaceous and Permian rock types (see the geotype symbol in Table 1). A more detailed division into geotechnical subtypes is also based on the physical-mechanical properties of soils and rock types. For soils it is mainly the grain size, and for rock types it is the character (5.X – fine-grained sandstone and siltstone; 6.X – marlite and claystone; 7.X – medium- to coarse-grained sandstone) and the strength of the rock (X.1 to X.5, corresponding to classes R6 to R2).

The bedrock of the area of interest is from Cretaceous and Permian period. The individual formations are described in the following Table 1, in the sequence running from the youngest (upper) formations to the oldest (lower) formations. The formations show a slight westward dip.

#### 4. DIVISION OF THE ROUTE INTO QUASI-HOMOGENEOUS UNITS

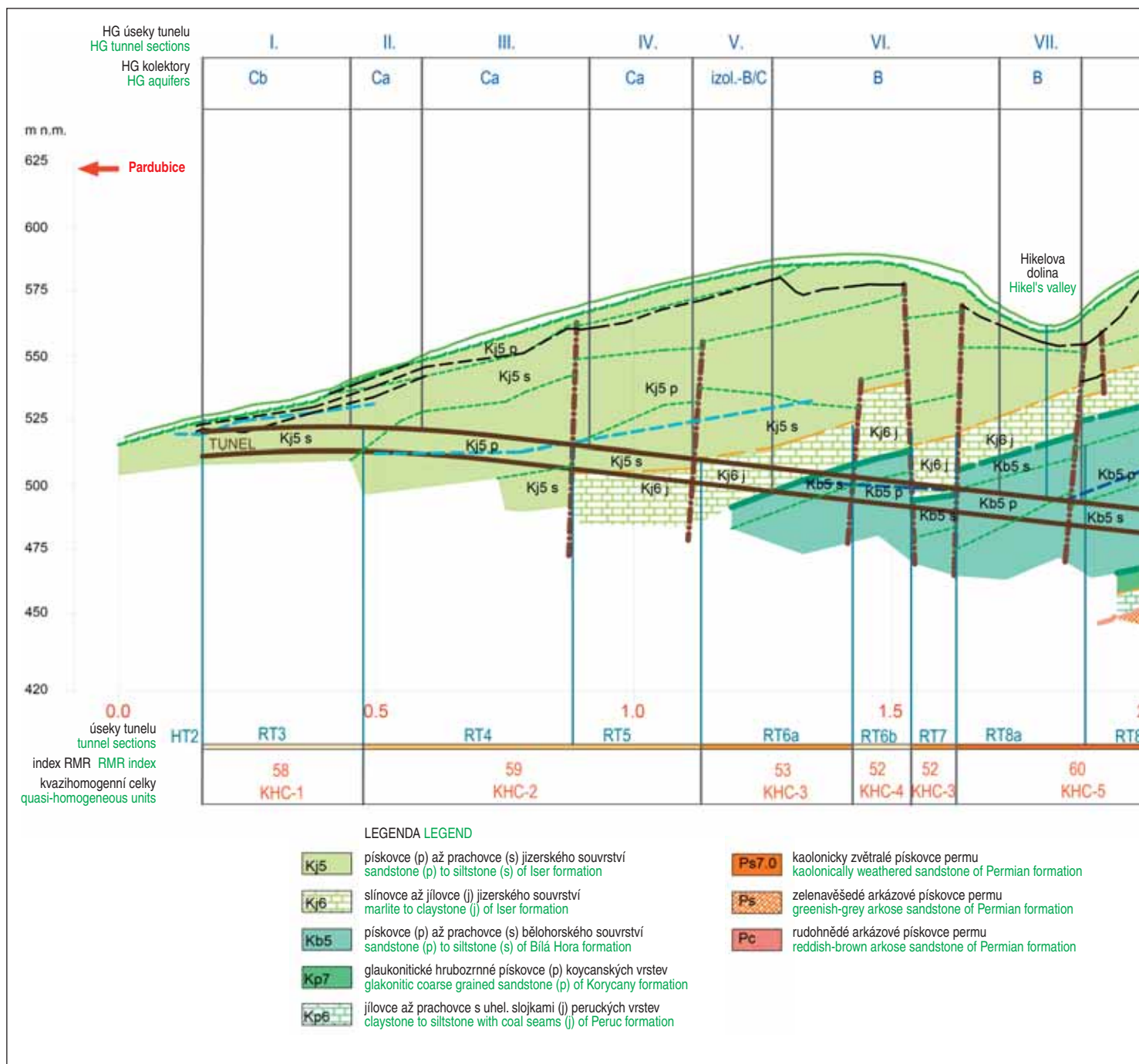
The whole route of the Dětrichov tunnel was divided into thirteen new quasi-homogeneous units based on the obtained knowledge, see Table 2. Eleven of them belong to the mined part of the tunnel (subdivided according to the detailed survey into sections marked RT3 to RT15) and two of them belong to the cut-and-cover sections of the tunnel (marked HT2 and HT16).

Each quasi-homogeneous unit includes one or two sections

Tab. 2 Rozdělení tunelových trub do kvazihomogenních celků podle výsledků geotechnického průzkumu

Table 2 Division of tunnel tubes into quasi-homogeneous units according to the results of the geotechnical survey

Kvazihomogenní celek Quasi-homogeneous unit	Index RMR RMR index  (Bieniawski, 1989) (Bieniawski, 1989)	Označení úseku Section marking	STT NTT		JTT STT	
			Délka úseku Section length	Staničení TT Chainage TT	Délka úseku Section length	Staničení TT Chainage TT
			[m]	[m]	[m]	[m]
HT2	–	HT2	162	0–162	162	0–162
KHC-1	58	RT3	312	162–474	300	162–462
KHC-2	59	RT4 RT	406	474–881	400	462–862
		RT5	249	881–1130	226	862–1089
KHC-3	53	RT6a	294	1130–1424	311	1089–1400
KHC-4	52	RT6b	113	1424–1537	142	1400–1542
KHC-3	52	RT7	87	1537–1625	70	1542–1612
KHC-5	60	RT8a	250	1625–1875	262	1612–1875
		RT8b	236	1875–2111	229	1875–2104
		RT9	94	2111–2205	85	2104–2189
KHC-6	53	RT10a	172	2205–2378	162	2189–2352
KHC-7	42	RT10b	201	2378–2579	208	2352–2560
KHC-8	47	RT11	170	2579–2749	189	2560–2749
KHC-9	48	RT12	217	2749–2965	213	2749–2962
KHC-10	51	RT13	308	2965–3274	312	2962–3275
		RT14	459	3274–3733	482	3275–3757
KHC-11	44	RT15	166	3733–3900	143	3757–3900
HT16	–	HT16	87	3900–3987	87	3900–3987



Obr. 1 Podélný geologický řez tunelem Dětrichov s vyznačením geotechnických úseků trasy, kvazi-homogenních celků a hydrogeologických úseků ražené části  
 Fig. 1 Longitudinal geological section through the Dětrichov tunnel with geotechnical sections of the route, quasi-homogeneous units and hydrogeological sections of the mined part marked in it

v úsecích RT5 (KHC-2; prachovce v jizerském souvrství), RT8b a RT9 (KHC-5; prachovce v bělohorském souvrství), kde jsou horniny hodnoceny jako dobré (II. třída, index RMR 61 až 63).

## 5. VLASTNOSTI HORNIN A HORNINOVÉHO MASIVU

### 5.1. Rozpojitelnost horninového masivu při ražbě a abrazivnost masivu

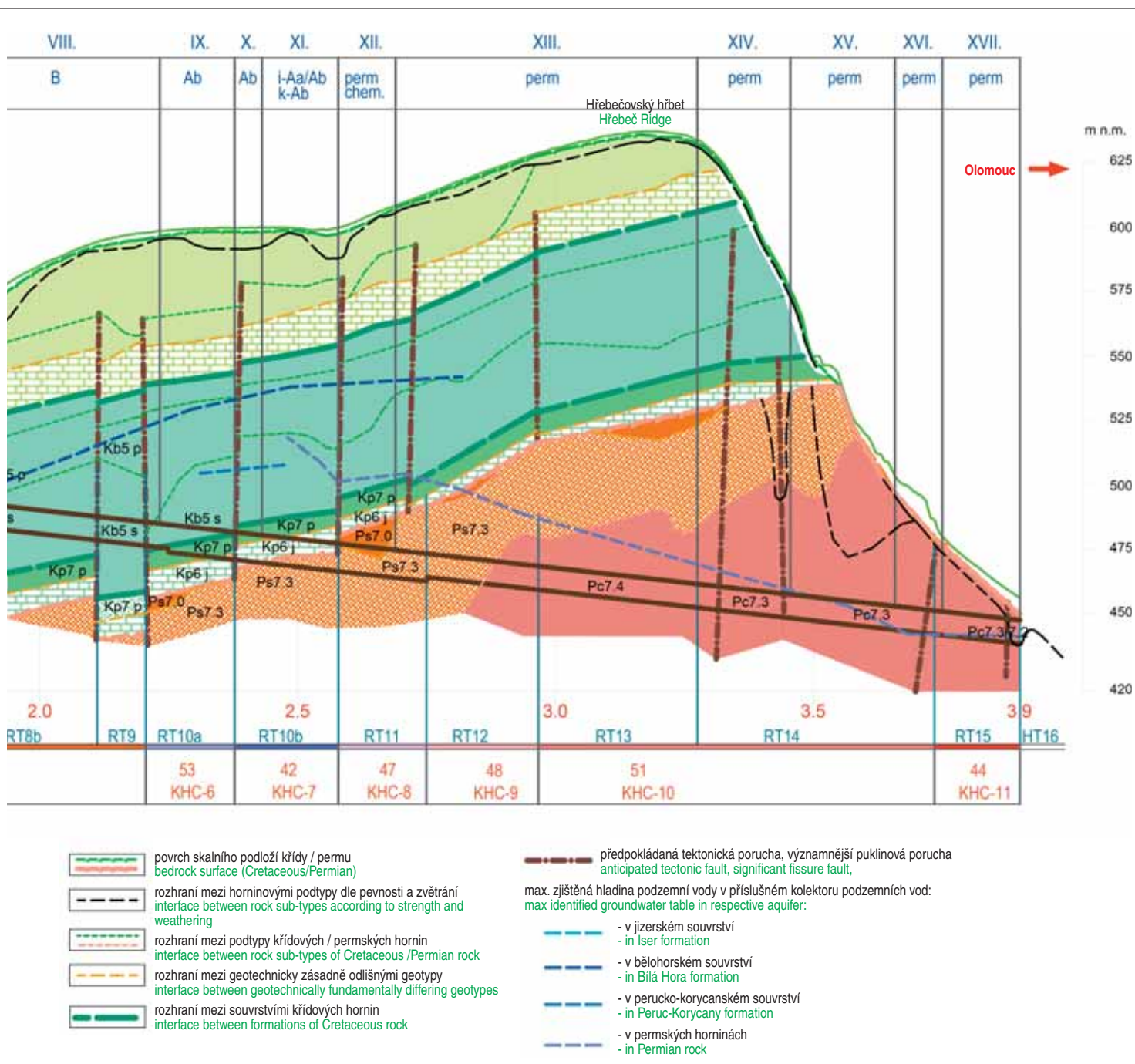
Z hlediska rozpojitelnosti hornin bude nejnáročnější část ražby probíhat v křídových prachovcích a pískovcích jizerského a bělohorského souvrství tř. R2 (dle ČSN 73 6133), kterými trasa tunelu prochází ve své západní části přibližně na dvou kilometrech. U těchto hornin se průměrná pevnost v prostém tlaku pohybuje okolo 72 MPa, což je řadí dle ČSN 73 6133 do:

(RTs) from the detailed survey, with section boundaries either corresponding to the detailed survey or slightly offset (see Fig. 1). Only the RT6 section itself has been split into two parts due to the inclusion of the KHC-4 unit between two parts of the KHC-3 unit.

It follows from Table 2 that according to the RMR index, the rock massif is rated as satisfactory throughout its length (Class III according to Bieniawski, 1989).

Class IV rock types (weak rock, RMR index 32 to 40) occur in quasi-homogeneous units KHC-7, KHC-8 and KHC-11. These are the rock types of the Peruc strata (geotype Kp6j), the kaolinic weathered upper part of the Permian formation beneath the coal-bearing Peruc strata (Ps7.0), and the weathered rock types of the Permian sandstone of the class R5, according to ČSN 73 6133 standard (Ps7.2 and Pc7.2).





a. II. třídy rozpojitelosti a těžitelnosti, pokud střední hustota diskontinuit je < 150 mm;

b. III. třídy rozpojitelosti a těžitelnosti, pokud střední hustota diskontinuit je > 150 mm.

Zde se již tedy jedná o velmi obtížné rozpojitelé a těžitelné materiály. Je pravděpodobné, že k rozpojování takto pevných hornin bude místy nezbytné použít trhací práce. Při nutnosti jejich vyloučení je pak třeba počítat s nasazením těžkých rozpojovacích mechanismů (rozcvičovače, těžká rypadla atp.) a zároveň i s velmi vysokou pracností.

Na úseku cca 1,3 km (TT 2600 až 3900) ražených tunelů bude ražba probíhat ve snáze rozpojitelých permských pískovcích ve třídách R4 a R3 s těžitelností ve třídách I–II podle aktuální ČSN 73 6133.

Z hlediska ražby a rozpojitelosti hornin bude specifickým úsekem (RT10b/KHC-7, délky cca 210 m, viz obr. 1 a tab. 3) přechod přes perucko-korycanské souvrství, kde se současně nachází horniny vysokých pevností (Kp5.4p) a také málo únosné uhelné slajky (Kp6.3j).

The best rock quality according to the RMR index is exhibited by the Cretaceous rock types in sections RT5 (KHC-2; siltstone in the Iser Formation), RT8b and RT9 (KHC-5; siltstone in the Bílá Hora Formation), where the rock is rated as good (Class II, RMR index 61 to 63).

## 5. ROCK AND ROCK MASSIF PROPERTIES

### 5.1 Breaking characteristic of the rock massif during mining and abrasiveness of the massif

In terms of the breaking characteristic of the rock, the most demanding part of the excavation will take place in the class R2 Cretaceous siltstone and sandstone of the Iser and Bílá Hora Formations (according to ČSN 73 6133), through which the tunnel route passes in its western part for approximately two kilometres. The average unconfined compressive strength of these rock types varies around 72MPa, which classifies them according to ČSN 73 6133 as:

Tab. 3 Geotechnické vlastnosti horninového masivu (zpracováno pomocí programu RockLab)  
Table 3 Geotechnical properties of the rock mass (processed using RockLab program)

Kvazihomogenní celky Quasihomogeneous units	Úsek tunelu Tunnel section	Geotyp Geotype	Hoek–Brown klasifikace (vstupní parametry) Hoek–Brown classification (entry parameters)							Mohr–Coulomb (výstupní parametry) Mohr–Coulomb (exit parameters)		Parametry horninového prostředí (výstupní parametry) Rock environment parameters (exit parameters)	
			Pevnost v prostém tlaku [MPa] Unconfined compressive strength P [MPa]	Objemová hmotnost [kN/m <sup>3</sup> ] Density [kN/m <sup>3</sup> ]	mi pevnostní parametr neporušené horniny (podle Hoeka) mi material parameter (Hoek–Brown)	GSI geologický index pevnosti GSI Geological strength index	D koeficient porušení horninového masivu D disturbance factor	Ei (Youngův modul neporušené horniny) [MPa] Ei (intact modulus) [MPa]	Použití Application	c [kPa]	φ [°]	Pevnost v jednoosém tlaku [MPa] Uniaxial compressive strength [MPa]	Modul deformace [MPa] Modulus of deformation [MPa]
KHC-1	RT3	Kj5s	79	23,9	9	55	0,7	17 775	tunnels	400	57	2,95	2 625
KHC-2	RT4	Kj5p	59	23,1	12	55	0,7	20 355	tunnels	355	54	2,20	3 000
	RT5	Kj5s	70	23,3	9	55	0,7	14 000	tunnels	490	49	2,61	2 070
KHC-3	RT7	Kj6j	30	23,7	7	40	0,7	11 850	tunnels	200	31	0,35	690
	RT6a	Kj6j	42	23,7	7	40	0,7	12 180	tunnels	220	35	0,49	710
	RT6a	Kb5s	61	23,3	9	50	0,7	12 810	tunnels	390	44	1,56	1 375
	RT7	Kb5s	70	23,4	9	50	0,7	14 700	tunnels	435	45	1,79	1 580
KHC-4	RT6b	Kb5p	73	23,0	10	55	0,7	16 790	tunnels	555	48	2,73	2 480
KHC-5	RT8a	Kb5p	64	22,8	11	55	0,7	17 600	tunnels	485	49	2,39	2 600
	RT8b	Kb5s	79	23,6	9	55	0,7	21 330	tunnels	605	47	2,95	3 150
	RT9	Kb5s	87	23,9	9	60	0,7	25 926	tunnels	885	48	4,72	5 200
KHC-6	RT10a	Kb5s	74	24,0	9	55	0,7	15 540	tunnels	620	45	2,76	2295
		Kp7p	12	23,5	14	35	0,7	4 080	tunnels	170	26	0,09	185
KHC-7	RT10b	Kp7p	12	23,3	14	35	0,7	3 600	tunnels	180	26	0,09	160
		Kp6j	16	21,7	9	35	0,7	5 840	tunnels	165	25	0,12	260
		Ps7.2	4,7	22,5	16	35	0,7	2 070	tunnels	130	20	0,04	95
KHC-8	RT11	Ps7.0	4,1	23,1	15	30	0,7	1 805	tunnels	110	17	0,02	65
		Ps7.3	8,0	23,3	17	35	0,7	3 520	tunnels	180	24	0,06	160
KHC-9	RT12	Ps7.3	9,4	23,2	17	38	0,7	3 570	tunnels	220	25	0,09	185
KHC-10	RT13	Pc7.3	12,5	22,8	17	43	0,7	3 275	tunnels	295	29	0,19	225
	RT14	Pc7.3	10,5	23,0	17	40	0,7	3 780	tunnels	190	30	0,12	220
KHC-11	RT15	Pc7.3/7.2	7,5	23,0	17	40	0,7	2 100	tunnels	65	39	0,09	125

Z hlediska míry opotřebení pracovního nástroje je důležité zařazení jednotlivých horninových materiálů na trase nejen podle pevnosti horninové hmoty, ale i podle parametrů abrazivnosti. Dle GTP jsou pískovce bělohorského souvrství (Kb) tř. R2 (0,78–1,12) a rudohnědé pískovce permu (Pc) tř. R3 a R4 (0,90–1,49), v nichž se bude převážně razit, klasifikovány podle CAI jako horniny s nízkou až střední abrazivností. Nejnížší abrazivnost (0,72) vykazují slínovce jizerského souvrství (geotyp Kj6) v km cca 1,1 až 1,3 a 1,5 až 1,6 km a nejvyšší (1,13–1,58) pak glaukonitické pískovce korycanských vrstev (geotyp Kp7) v cca km 2,25 až 2,45.

## 5.2. Diskontinuity horninového masivu a index RQD

V horninovém masivu tvořeném sedimentárními horninami převažují diskontinuity související s vrstevnatostí. Tyto diskontinuity vykazují úhel sklonu obvykle 4 až 20 stupňů. Ostatní sklonové diskontinuity se pohybují převážně od 43° do 82°.

Vzdálenost (rozteč) diskontinuit spojená s vrstevnatostí je podstatně menší než vzdálenost ostatních puklin. Níže uváděné hodnoty platí pro úseky vrtného jádra, kde došlo k prvnímu záznamu o porušení horniny a zahrnuje i vyplněné pukliny. Většinou se

a. Cuttability and workability classes II if the mean spacing of discontinuities is < 150mm;

b. Cuttability and workability classes III if the mean spacing of discontinuities is > 150mm.

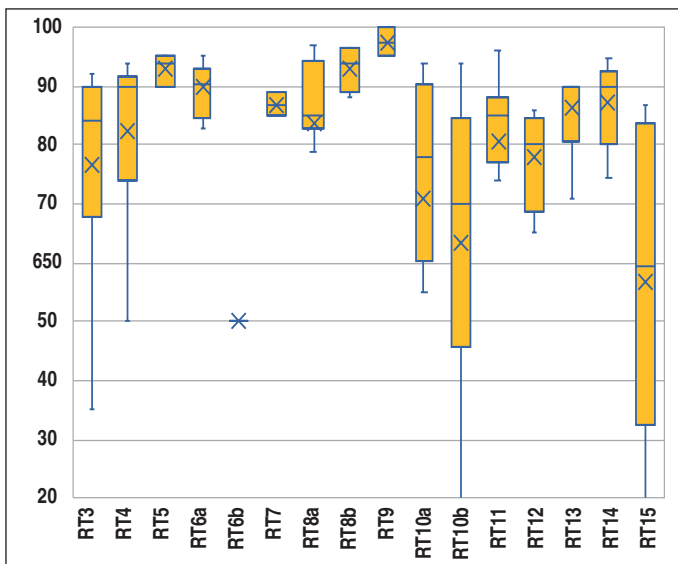
Here, therefore, we are already dealing with materials very difficult to dissolve and excavate. It is likely that blasting will be necessary in places to dissolve such hard rock types. If it is necessary to exclude it, the use of heavy breaking mechanisms (rippers, heavy excavators, etc.) must be taken into account, as well as very high workload.

In the approx. 1.3km section (TT 2600 to 3900) of the mined tunnels, the tunnels will be driven through easily dissolvable Permian sandstone in classes R4 and R3 with the workability in classes I-II according to the current ČSN 73 6133 standard.

A specific section (RT10b/KHC-7, length approx. 210m, see Fig.1 and Table 3) will be a transition through the Peruc-Korycany Formation, where high strength rock types (Kp5.4p) and low bearing capacity coal seams (Kp6.3j) are found at the same time.

From the point of view of the degree of the wear of the working tool, it is important to classify the individual rock materials on the route not only according to the strength of the rock mass, but



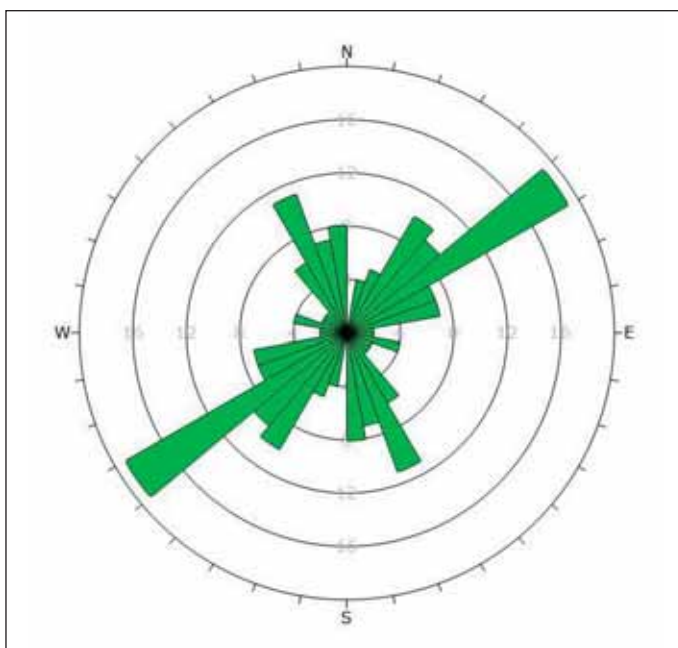


Obr. 2 Rozsah hodnot indexu RQD (%) zjištěných v jednotlivých úsecích  
Fig. 2 The range of RQD index values (%) found in individual sections

vzdálenost diskontinuit pohybuje v rozmezí hodnot 9 až 110 cm, v místech výraznějšího porušení pak 5 až 35 cm.

Dokumentované vrtné jádro bylo hodnoceno dle indexu RQD. V křídových horninách se RQD pohybovalo obvykle od 74 do 95 %, v perucko-korycanském souvrství se RQD od 65 do 94 %, v permských horninách od 71 až 90 %, přičemž v porušených zónách 10 až 45 %.

Na krabicovém grafu (obr. 2) je vidět rozložení indexu RQD v jednotlivých úsecích tunelu. Nejmenší porušení horniny bylo zaznamenáno v úsecích RT5 (KHC-2), RT8b a RT9 (oba v kvazihomogenním celku KHC-5) a největší pak v úsecích RT6b (KHC-4), RT10b (KHC-7) a RT15 (KHC-11), tj. při prostupu perucko-korycanským souvrstvím a na konci ražené části tunelu v permských horninách. Lehce podprůměrné jsou pak úseky RT10a (KHC-6; perucko-korycanské a báze bělohorského souvrství), RT3 (KHC-1; začátek ražené části tunelu) a RT12 (KHC-9) v permu.



Obr. 3 Růžicový diagram směrů puklin v jizerském souvrství (KHC-1 až 3)  
Fig. 3 Rose plot diagram of the directions of fissures in the Iser Formation (KHC-1 to 3)

also according to the abrasiveness parameters. According to the GTP, the sandstone of the Bílá Hora Formation (Kb) is of class R2 (0.78–1.12) and reddish-brown sandstone from Permian period (Pc) cl. R3 and R4 (0.90–1.49), which will be predominantly excavated, are classified according to CAI as rock with low to medium abrasiveness. The lowest abrasiveness (0.72) is exhibited by the Iser formation claystone (geotype Kj6) at km 1.1 to 1.3 and 1.5 to 1.6 and the highest (1.13 to 1.58) by the glauconitic sandstone of the Korycany strata (geotype Kp7) at km 2.25 to 2.45.

## 5.2 Discontinuities of rock massif and RQD index

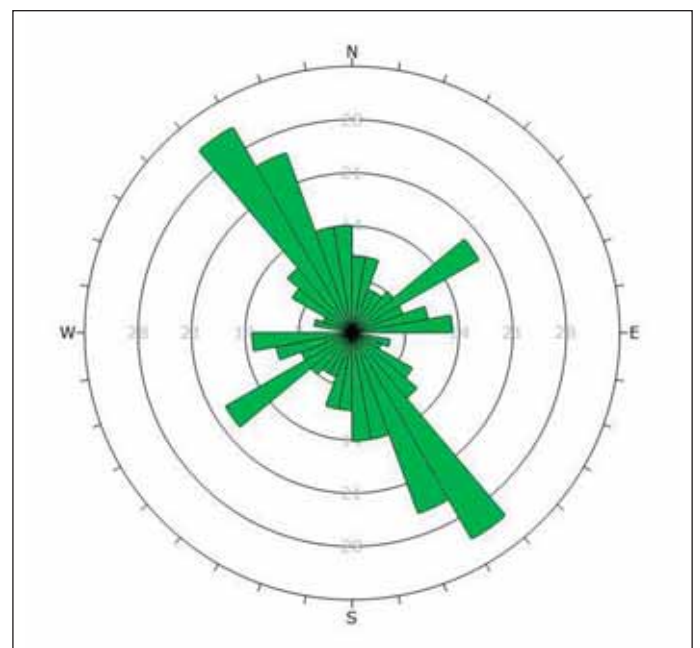
In the rock massif composed of sedimentary rock types, discontinuities related to the layering predominate. These discontinuities exhibit a dip angle of 4 to 20 degrees. The other dipping angles of the discontinuities range mainly from 43° to 82°.

The distance (spacing) between the discontinuities associated with the layering is much smaller than the spacing of the other fissures. The values reported below are for the sections of the drill core where the first record of rock faulting occurred and include also filled fissures. In most cases, the spacing between discontinuities ranges from 9 to 110cm, and from 5 to 35cm in areas of more pronounced faulting.

The documented drill core was evaluated according to the RQD index. In Cretaceous rock types, RQD typically ranged from 74 to 95%, with RQD ranging from 65 to 94% in the Peruc-Korycany Formation and 71 to 90% in Permian rock types, with 10 to 45% in faulted zones.

The box plot (Fig. 2) shows the distribution of the RQD index in each tunnel section. The smallest degree of rock faulting was recorded in sections RT5 (KHC-2), RT8b and RT9 (both in the quasi-homogeneous unit KHC-5) and the largest in sections RT6b (KHC-4), RT10b (KHC-7) and RT15 (KHC-11), i.e. at the permeation through the Peruc-Korycany Formation and at the end of the mined part of the tunnel in Permian rock. Slightly below average are sections RT10a (KHC-6; Peruc-Korycany and base of the Bílá Hora Formations), RT3 (KHC-1; the beginning of the mined part of the tunnel) and RT12 (KHC-9) in the Permian Formation.

The Cretaceous formations are dominated by sub-horizontal discontinuities (layering) dipping generally ca 30° to the west.



Obr. 4 Růžicový diagram směrů puklin v bělohorském souvrství (KHC-5)  
Obr. 4 Rose plot diagram of the directions of fissures in the Bílá Hora Formation (KHC-5)

V křídových souvrstvích převažují subhorizontální diskontinuity (vrstevnatost) s úklonem do cca 30° upadající generálně k západu. Hlavní systém ostatních diskontinuit (puklin) upadá na JV (140–153°) pod úhly 70–82°, druhý na SZ (298–313°) pod úhly 48–70° a třetí rozptýlený k VSV (58–88°) pod úhly 64–84° (obr. 3).

V bělohorském souvrství hlavní systém puklin (obr. 4) upadá na SV až VSV (48–82°) pod úhly 50–82°, druhý podružný na SSZ (320–331°) pod úhly 72–89° a třetí na ZJZ (226–247°) pod úhly 69–80°.

V perucko-korycanském souvrství hlavní systém puklin upadá na SZ (309–336°) pod úhly 63–89°, druhý na J až JV (140–171°) pod úhly 54–87°.

V permských horninách převažují subhorizontální diskontinuity (vrstevnatost) bez zjevně převažujícího směru úklonu. Hlavní systém puklin upadá na SV až VSV (37–74°) pod úhly 32–53°. Další systémy puklin jsou široce rozptýlené upadající na JV (129–138°) pod úhly 43–70° a upadající na J až JZ (182–212°) pod úhly 52–61°.

### 5.3 Tektonické porušení masivu

Na základě provedených vrtů a geofyzikálního průzkumu se předpokládá, že souvislý průběh litologických rozhraní je v několika úsecích přerušeno tektonickými poruchami. Tyto úseky jsou znázorněny v podélném řezu (obr. 1). V rámci doplňujícího průzkumu bylo v oblasti Hikelovy doliny ve staničení cca TT 1473 až 1898 m interpretováno porušené pásmo, které je v úseku 1448 až 1673 m doprovázeno sníženými seismickými rychlostmi z měření mělké refrakční seismiky (MRS). U ústí Hikelovy doliny jsou v Dětrichově hojné pramenné vývěry. Největší porušení hornin (seismické rychlosti kolem 1000 m·s<sup>-1</sup>), které by mohlo odpovídat tektonickým poruchám, bylo zaznamenáno kolem staničení stavby TT 1453 m, 1498 m; 1608 m; 1653 m, 1883 m a kolem 2148 m. Mezi staničením TT 2110 až 2200 m, která odpovídají úseku RT9, se nachází kra křídových hornin (obr. 1).

Projevy křehké tektoniky jsou časté v rigidních křídových vrstvách, zejména ve spongilitických vápnných prachovcích a vápnných pískovcích turonu. Jsou tu patrné mikropukliny, pukliny mineralizované kalcitem a limonitem i pukliny otevřené (trhliny). V několika vrtech byly zjištěny projevy drčení, tektonické brekcie tmelené kalcitem (vrty v TT 1900 m, 2020 m, 2300 m a TT 2555 m).

### 5.4 Geotechnické parametry hornin

Na grafu (obr. 5) je vyneseno tzv. modulový poměr (Deere–Miler, 1966) – poměr deformačních modulů a pevností v jednoosém tlaku u zkoušených hornin. Z grafu vyplývá, že u křídových jílovců/slínovců jizerského souvrství (geotyp K<sub>j6</sub>) leží vynesené body v oblasti plastického charakteru porušení hornin (poměr je pod hranicí hodnoty 1 : 200).

Zastižené křídové prachovce (především z bělohorského souvrství) lze charakterizovat jako horniny středně plastické až plastické (poměr je v intervalu většinou mezi 1 : 150 až 1 : 410) s místními výkyvy do křehkého chování.

Pískovce perucko-korycanského souvrství a hornin z permu jsou na pomezí středně plastického a plastického charakteru porušení hornin (poměr je na hranici hodnoty 1 : 200, 1 : 140 až 1 : 290).

U jílovců a prachovců perucko-korycanského souvrství pak ukazují výsledky zkoušek na křehký způsob porušení (poměr je 1 : 560 až 1 : 1200).

Doporučené charakteristické hodnoty geomechanických parametrů, které jsou uvedeny v pasportech doplňujícího průzkumu pro jednotlivé kvazihomogenní celky, vychází z Hoek–Brownových kritérií porušení (z roku 2002) pro skalní masivy. Výsledné geomechanické parametry horninového masivu  $E_{\text{det}}$ ,  $c_{\text{ef}}$ ,  $\phi_{\text{ef}}$  byly získány pomocí programu RockLab V1.031. Vstupními parametry tohoto programu jsou

The main system of other discontinuities (fissures) dips to the SE (140–153°) at angles of 70–82°, the second one dips to the NW (298–313°) at angles of 48–70°, and the third one is dispersed to the ENE (58–88°) at angles of 64–84° (Fig. 3).

In the Bílá Hora Formation, the main fissure system (Fig. 4) dips to the NE to ENE (48–82°) at angles of 50–82°, the second minor system to the NNW (320–331°) at angles of 72–89°, and the third one to the WSW (226–247°) at angles of 69–80°.

In the Peruc-Korycany Formation, the main fissure system dips to the NW (309–336°) at angles of 63–89°, the second one to the S up to SE (140–171°) at angles of 54–87°.

Sub-horizontal discontinuities (layering) prevail in the Permian rock types without an apparently predominant dip direction. The main fissure system dips to the NE to ENE (37–74°) at angles of 32–53°. Other fracture systems are widely scattered, dipping to the SE (129–138°) at angles of 43–70° and to the SW (182–212°) at angles of 52–61°. Other fissure systems are widely scattered, dipping to the SE (129–138°) at angles of 43–70° and to the S up to SW (182–212°) at angles of 52–61°.

### 5.3 Tectonic faulting of the massif

Based on the drilling and geophysical survey, it is assumed that the continuous course of the lithological interfaces is interrupted in several sections by tectonic faults. These sections are shown in the longitudinal section (Fig. 1). As part of the supplementary survey, a faulted zone was interpreted in the Hikel Valley area at approximately TT 1473 to 1898m, which is accompanied by reduced seismic velocities from shallow refraction seismic survey (SRS) measurements in the section between 1448 and 1673m. At the mouth of the Hikel Valley there are abundant spring boils in Dětrichov. The largest rock faulting (seismic velocities around 1000ms<sup>-1</sup>), which could correspond to tectonic faults, were recorded around the TT 1453m, 1498m; 1608m; 1653m, 1883m and around 2148m. Between chainages TT 2110 and 2200m, which correspond to section RT9, there is a block of Cretaceous rock (Fig.1).

Manifestations of brittle tectonics are frequent in the rigid Cretaceous formation, especially in the spongolitic calcareous siltstone and calcareous sandstone of the Turonian Period. Micro-fissures, fissures mineralised with calcite and limonite and open fissures (fractures) are visible. Several boreholes showed evidence of crushing and tectonic breccias cemented by calcite (boreholes at TT 1900m, 2020m, 2300m and TT 2555m).

### 5.4 Geotechnical parameters of rock types

The so-called modulus ratio (Deere–Miler, 1966) – the ratio of the modulus of deformation and uniaxial compressive strengths of the tested rock is plotted in the graph (Fig. 5). It follows from the graph that for the Cretaceous claystone/siltstone of the Iser Formation (geotype K<sub>j6</sub>), the plotted points lie in the area of the plastic character of the rock faulting (the ratio is below the value of 1:200).

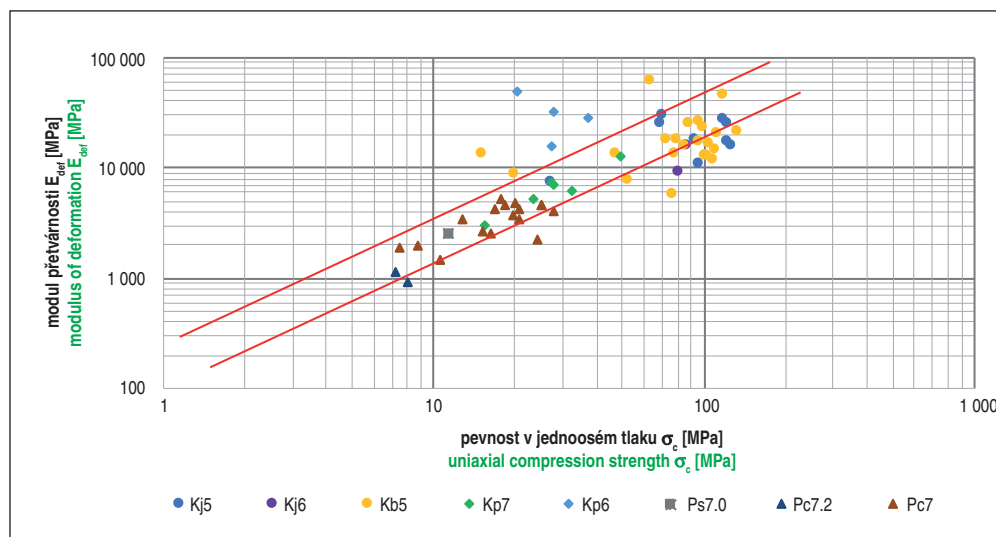
The encountered Cretaceous siltstone (mainly from the Bílá Hora Formation) can be characterised as moderately plastic to plastic rock (the ratio is mostly between 1:150 and 1:410) with local fluctuations to brittle behaviour.

The sandstone of the Peruc-Korycany Formation and Permian rock types are on the borderline between the moderately plastic and plastic nature of the rock faulting (the ratio is on the borderline of 1:200, 1:140 to 1:290)

For the claystone and siltstone of the Peruc-Korycany Formation, the test results indicate a brittle failure mode (the ratio is 1:560 až 1:1200).

The recommended characteristic values of geomechanical parameters, which are given in the passports of the supplementary





Obr. 5 Diagram podle Deer–Millera (1966)

Obr. 5 Diagram according to Deer–Miller (1966)

pevnost v prostém tlaku horninového materiálu, index GSI, materiálový parametr „mi“ pro typ horniny, „D“ – faktor porušení (narušení) vlivem zásahu stavební činností a dále se zadává aplikace pro druh výpočtu, tíha horniny a hloubka tunelu pod povrchem. Přehledně jsou takto získané hodnoty parametrů hornin uvedené v tab. 3.

Stanovené deformační parametry horninového prostředí jsou v úrovni tunelu řádově lepší v jizerském a bělohorském souvrství než v permských horninách a perucko-korycanském souvrství křídly. Oslabený úsek v křídlovém souvrství se nachází v kvazihomogenních celcích KHC-3 a KHC-6 až KHC-7. V oblasti výskytu permských hornin se oslabený úsek vyskytuje v KHC-8 a KHC-11. Jedná se částečně o úseky cca km 1,1 až 1,6 a především pak o km 2,3 až 2,8 a 3,7 až 3,9.

## 6. HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY TUNELU

Oblast ústecké synklinály (hydrogeologický rajón 4232) je charakterizována hydrogeologickým multikolektorovým pánevním systémem, v němž je definováno několik hydrogeologických kolektorů. V území tunelu Dětrichov lze v křídlových sedimentech vyčlenit kolektory A, B a kolektor C, který se rozděluje vrstvou slínovců a vápnitých prachovců na subkolektory Ca a Cb (kalianasové pískovce).

Geologickým obrazem **kolektoru A** je celé perucko-korycanské souvrství, kde se vyskytují pískovce glaukonitické i jemnozrnné a hrubozrnné křemenné pískovce. **Kolektor B** je interpretován v celém bělohorském souvrství s výjimkou jeho báze [1]. Ve vrtech geotechnického průzkumu jsou jak ve svrchní, tak i ve spodní části bělohorského souvrství dokumentovány otevřené puklinové systémy. Podle hydrokarotáže je ustálená hladina podzemní vody dokumentována ve svrchní části souvrství. Podzemní voda se pohybuje směrem dolů a mizí v puklinách spodní části bělohorského souvrství. Porušený slínovcový izolátor na bázi jizerského souvrství byl identifikován v TT 2890 až 3250 m, tj. mimo dosah možného ovlivnění tunelu.

**Subkolektor Ca** zahrnuje celou střední část jizerského souvrství (tzv. pásmo VIII ve starší geologické literatuře) a patrně i smouhovité vápnité písčité prachovce v bezprostředním podloží pásma VIII. Dokladem této skutečnosti je přítomnost otevřených puklin a zón alterace hornin oxid-hydroxidy železa podle puklin a přítomnost soustředných kruhů (tzv. liesegangových kruhů) železitých oxid-hydroxidů. Infiltrační oblast subkolektoru Ca je široká a projevuje se silnou alterací sedimentů, především silnou dekalifikací a tvorbou mikrokaveren.

survey for individual quasi-homogeneous units, are based on the Hoek–Brown failure criteria (2002) for rock masses. The resulting rock mass geomechanical parameters  $E_{def}$ ,  $c_{ef}$ ,  $\varphi_{ef}$  were obtained using RockLab V1.031. The input parameters of this program comprise the unconfined compressive strength of the rock material, the GSI index, the material parameter “mi” for the rock type, “D” – the failure (disturbance) factor due to construction activities, and, in addition, the application for the type of calculation, the rock weight and the tunnel depth below the surface. The values of rock parameters obtained in this way are summarized in Table 3.

The deformation parameters of the rock environment determined at the level of the tunnel are better in the order of magnitude than in Permian rock types and the Iser and Bílá Hora formations. The weakened section in the Cretaceous formation is located in the quasi-homogeneous units KHC-3 and KHC-6 to KHC-7. In the Permian rock occurrence area, the weakened section occurs in KHC-8 and KHC-11. These are partly the sections at km 1.1 to 1.6 and mainly km 2.3 to 2.8 and 3.7.

## 6. HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF THE TUNNEL

The area of the Ústí nad Labem Syncline (hydrogeological district 4232) is characterised by a hydrogeological multi-aquifer basin system in which several hydrogeological aquifers are defined. In the area of the Dětrichov tunnel it is possible to distinguish in the Cretaceous sediments the A and B aquifers and the C aquifer, which is divided by a layer of marlite and calcareous siltstone into the Ca and Cb (kaliana sandstone) sub-aquifers.

The entire Peruc-Korycany Formation, where glauconitic sandstone as well as fine-grained and coarse-grained quartzose sandstone occur is the geological picture of the A aquifer. **The B aquifer** is interpreted throughout the entire Bílá Hora Formation with the exception of its base [1]. Open fissure systems are documented in the geotechnical survey boreholes in both the upper and lower parts of the Bílá Hora Formation. According to the hydrological logging, a steady groundwater table is documented in the upper part of the formation. Groundwater moves downwards and disappears in the fissures of the lower part of the Bílá Hora Formation. The disturbed Iser marlite isolator was identified at TT 2890 to 3250m, i.e. outside the range of the possible influence on the tunnel.

**Sub-aquifer Ca** includes the whole central part of the Iser Formation (the so-called Zone VIII in older geological literature) and probably also the streaked calcareous sandy siltstone in the immediate sub-aquifer of Zone VIII. Evidence of this fact is the presence of open fissures and zones of rock alteration of by iron oxide-hydroxides along to the fissures and the presence of concentric rings (so-called liesegang rings) of iron oxide-hydroxides. The infiltration area of the Ca sub-aquifer is wide and manifests itself by alteration of the sediments, especially strong decalcification and formation of micro-caverns.

**Sub-aquifer Cb** was encountered in boreholes west of chainage TT 850m. It is separated from the sub-aquifer Ca by an about 10–15m thick layer of marlite and calcareous siltstone.

**Subkolektor Cb** byl zjištěn ve vrtech západně od staničení TT 850 m. Od subkolektoru Ca jej dělí vrstva slínovců a vápnných prachovců mocná kolem 10–15 m.

Monitoringem hladin vod jednotlivých kolektorů v 16 nově zbudovaných hydrogeologických vrtech a z hydrodynamických zkoušek vyplynulo, že režim vod je podobný v jizerském a bělohorském souvrství oproti perucko-korycanskému souvrství, které má zase podobný režim s podzemní vodou v hluboko uložených pískovcích permu (v úseku překrytém křídovými horninami). Vykreslené hladiny vod v jednotlivých kolektorech na obr. 1 jsou maximální zjištěné.

Tunel byl rozdělen do 17 hydrogeologických úseků (HG I. až XVII.) s ohledem na rozlišení zastižených kolektorů a izolátorů a na výskyt hladiny podzemní vody pod počvou tunelu, v tunelu a nad stropem tunelu (obr. 1). Jizerské souvrství vykazuje z hydrodynamických zkoušek hydraulickou vodivost  $k = 1,8 \cdot 10^{-7}$  až  $3,7 \cdot 10^{-5}$  m/s, bělohorské souvrství 3,6 až  $9,6 \cdot 10^{-7}$  m/s, perucko-korycanské souvrství 2,0 až  $3,2 \cdot 10^{-7}$  m/s, perm (pod křídovými uloženinami) 1,0 až  $3,5 \cdot 10^{-8}$  m/s a perm na úpatí svahu 2,8 až  $7,5 \cdot 10^{-6}$  m/s.

Nejvyšší přítoky do tunelu 0,3 až 0,4 l/s na 10 m tunelu se očekávají v úseku IV. (TT 900 až 1100), kde tunel prochází spodní částí kolektoru jizerského souvrství nad izolátorem slínovců (GT úsek RT5/KHC-2). Dále se pak v úseku X. (TT 2360 až 2430), kde tunel prochází perucko-korycanským souvrstvím (GT úsek RT10b/KHC-7), očekávají přítoky 0,13 až 0,2 l/s na 10 m tunelu. Přitoky 0,045 až 0,12 l/s na 10 m tunelu se očekávají v úsecích III. (kolektor C), VII. (kolektor B), IX. a XI. (kolektory B, A), XV. a XVII. (perm). Nejnížší přítoky (0,0016 až 0,023 l/s na 10 m) se očekávají na začátku tunelu do TT 560, dále v úsecích V. a VI. s výskytem izolátoru B/C, v úseku permských hornin se sevřenými puklinami XIII. a XIV. a u severní tunelové trouby, kde hladina podzemní vody je pod počvou tunelu (úsek XVI.).

## 7. ZÁVĚR

Průzkumné práce doplňujícího geotechnického průzkumu pro tunel Děřichov významně rozšířily geologické informace o vývoji a charakteru hranic litostratigrafických jednotek jak v křídě, tak i v permu a přispěly tak významně k interpretaci tektoniky zájmového území a k pochopení vztahu geologických struktur a hydrogeologických poměrů. Je nyní zcela zřejmé, že ražba tunelu Děřichov bude procházet heterogenními litologiemi, tektonicky porušeným územím s protiklonným zapadáním křídových vrstev vůči průběhu tunelu. Rovněž z hlediska hydrogeologie bude tunel procházet přinejmenším třemi horninovými prostředími s funkcí hydrogeologických kolektorů.

*Mgr. PETR MAZÁČ, petr.mazac@geotechnika.cz,  
Mgr. PAVEL KLÍMA, pavel.klima@geotechnika.cz,  
Mgr. PETRA JAKUBOVÁ, PhD.,  
petra.jakubova@geotechnika.cz,  
SG Geotechnika a.s.*

Recenzoval *Reviewed by: RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D.*

The monitoring of the water table levels of individual aquifers in 16 newly carried out hydrogeological boreholes and hydrodynamic tests showed that the water regime is similar in the Iser and Bílá Hora aquifers compared to the Peruc-Korycany aquifer, where in turn, a similar groundwater regime exists in the deep-seated Permian sandstone (in the section overlain by Cretaceous rock). The plotted water table levels in the individual aquifers in Fig. 1 are the maximum levels observed.

The plotted water table levels in the individual aquifers in Figure 1 are the maximum levels observed. Hydrodynamic tests show hydraulic conductivity  $k = 1.8 \cdot 10^{-7}$  to  $3.7 \cdot 10^{-5}$  m/s for the Iser Formation, 3.6 to  $9.6 \cdot 10^{-7}$  m/s for the Bílá Hora Formation, 2.0 to  $3.2 \cdot 10^{-7}$  m/s for the Peruc-Korycany Formation, 1.0 to  $3.5 \cdot 10^{-8}$  m/s for the Permian Formation (under the Cretaceous deposits) and 2.8 to  $7.5 \cdot 10^{-6}$  m/s for the Permian Formation at the foot of the slope.

The highest rates of inflows to the tunnel of 0.3 to 0.4 L/s per 10 m of tunnel are expected in Section IV (TT 900 to 1100), where the tunnel passes through the lower part of the Iser aquifer above the marlite isolator (GT section RT5/KHC-2). Furthermore, inflow rates of 0.13 to 0.2 L/s per 10 m of tunnel are expected in section X (TT 2360 to 2430), where the tunnel passes through the Peruc-Korycany Formation (GT section RT10b/KHC-7). Inflow rates of 0.045 to 0.12 L/s per 10 m of tunnel are expected in sections III (aquifer C), VII (aquifer B), IX and XI (aquifers B, A), XV and XVII (Permian). The lowest inflow rates (0.0016 to 0.023 L/s per 10 m) are expected at the beginning of the tunnel up to TT 560, then in sections V and VI with the occurrence of the B/C isolator, in the section of Permian rock with tight fractures XIII and XIV and in the northern tunnel tube, where the water table level is below the tunnel bottom (section XVI).

## 7. CONCLUSION

The exploratory operations of the supplementary geotechnical survey for the Děřichov tunnel significantly expanded the geological information on the development and character of the boundaries of lithostratigraphic units both in the Cretaceous and Permian formations and thus contributed significantly to the interpretation of the tectonics of the area of interest and to the understanding of the relationship between geological structures and hydrogeological conditions. It is now fully obvious that the Děřichov tunnel will pass through heterogeneous lithologies, a tectonically faulted area with an anticlinal dipping of Cretaceous layers in relation to the tunnel course. Also in terms of hydrogeology, the tunnel will pass through at least three rock environments with the function of hydrogeological aquifers.

*Mgr. PETR MAZÁČ, petr.mazac@geotechnika.cz,  
Mgr. PAVEL KLÍMA, pavel.klima@geotechnika.cz,  
Mgr. PETRA JAKUBOVÁ, PhD.,  
petra.jakubova@geotechnika.cz,  
SG Geotechnika a.s.*

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] BRUTHANS, J., BURDA, J., BŮZEK, Fr. et al. *Ústecká synklinála v povodí Svitavy: hydrogeologický rajon 4232*. Praha: Česká geologická služba, 2022. Geologie a hydrogeologie. ISBN 978-80-7673-060-1.
- [2] MAZÁČ, P. D35 Opatovec – Staré Město, doplňující průzkum. Praha: SG Geotechnika a.s., 2023.
- [3] VAŠÁK, A., MAZÁČ, P. D35 Opatovec – Staré Město, 2. úsek – tunel Děřichov v km 77,800 – 81,800. Podrobný GTP. Praha: INSET s.r.o., SG Geotechnika a.s., 2020.
- [4] ŽÍTKO, T. D35 3509 Opatovec – Staré Město, DSP/IČ. SO601 Tunel Děřichov – stavební část. D 1.5 Objekty podzemních staveb. SO09-601.31.1.01. [Technická zpráva] Praha: SUDOP Praha a. s., 2021.



# INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ PODMÍNKY VÝSTAVBY NOVÉ TRASY METRA I.D V ÚSEKU MEZI STANICEMI PANKRÁC A OLBRACHTOVA

## ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS FOR THE CONSTRUCTION OF THE NEW METRO LINE I.D IN THE SECTION BETWEEN PANKRÁC AND OLBRACHTOVA STATIONS

JIŘÍ TLAMSA, JAN ZEMÁNEK

### ABSTRAKT

Úsek nově budované trasy pražského metra I.D v prostředí a okolí stanic Pankrác a Olbrachtova představuje nejnáročnější část této podzemní stavby jak kvůli složitému projektovému řešení a předpokládaným geotechnickým podmínkám ražby, tak i rizikům spojeným s negativním ovlivněním okolní zástavby a přilehlých objektů trasy metra C. Ražby na mezistaničním úseku byly zahájeny v průběhu měsíce dubna 2022 a navázaly na dokončený soubor doplňkových geologických průzkumných prací úseku VO-OL a PAD4, které poskytly potřebné podklady k optimalizaci projektu výstavby. V průběhu více jak roku a půl běžící výstavby je sdružením KRTEK D (sdružení firem SG Geotechnika, INSET, GeoTec GS, a PUDIS) prováděna činnost komplexního geotechnického monitoringu, jehož nedílnou součástí je i inženýrskogeologická dokumentace zastižených poměrů při prováděných ražbách [1].

### ABSTRACT

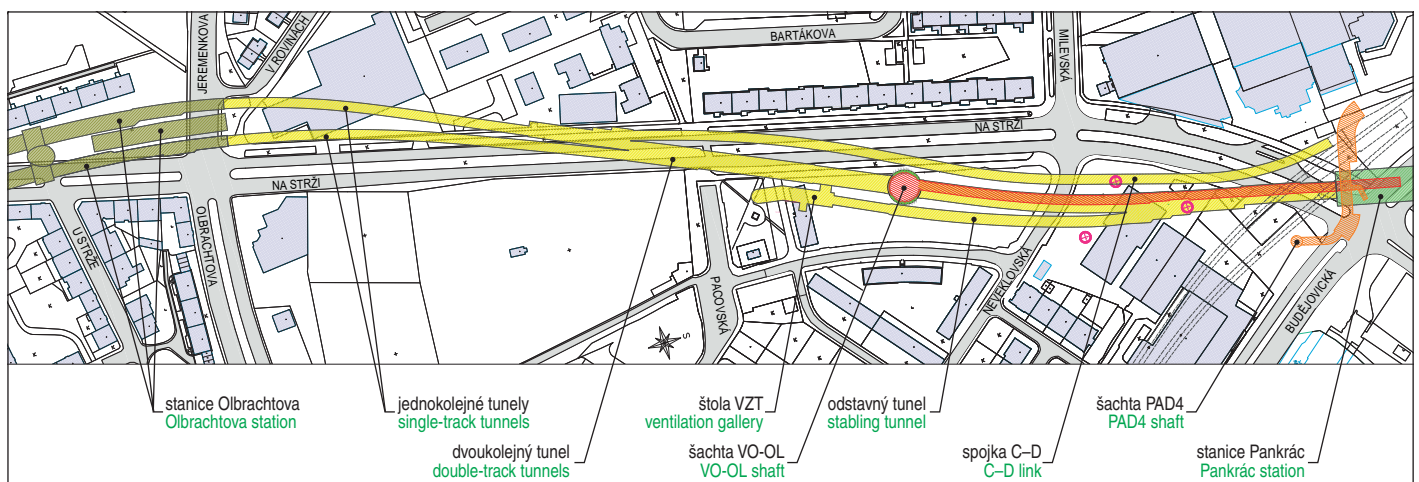
The section of the newly constructed Prague metro line I.D in the environment and surroundings of the Pankrác and Olbrachtova stations represents the most challenging part of this underground construction due to the complex design solution and the expected geotechnical conditions of the excavation, as well as the risks associated with the negative impact on the surrounding buildings and adjacent objects of the metro line C. Tunnelling operations in the interstation section commenced during the month of April 2022 and followed on from the completed package of supplementary geological exploration work on the VO-OL and PAD4 sections, which provided the necessary background to optimise the construction design. During more than a year and a half of construction operations, the KRTEK D consortium (formed by the companies of SG Geotechnika, INSET, GeoTec GS, and PUDIS) is carrying out comprehensive geotechnical monitoring, an integral part of which is the engineering geological documentation of the conditions encountered during the progressing excavation [1].

### ZÁKLADNÍ ÚDAJE O PROJEKTU VÝSTAVBY METRA I.D

První provozní úsek nové linky metra D (označený I.D) zahrnuje 10 stanic a jeho celková délka je zhruba 10,6 km. Začíná na Vinohradech přestupní stanicí s linkou A Náměstí Míru, pokračuje přes Nusle (stanice Náměstí bratří Synků) a Pankrác (stanice Pankrác s přestupem na metro C, stanice Olbrachtova) a dále do Krče (stanice Nádraží Krč), Libuše (stanice Nové Dvory a Libuš) a Písnice (stanice Písnice), kde bude současně vybudované nové depo. S výjimkou stanice Nádraží Krč je celá trasa podzemní. Dopravně nejpotřebnější etapou projektu výstavby trasy I.D je úsek Pankrác

### BASIC DATA ON THE METRO ID PROJECT DEVELOPMENT

The first operational section of the new metro line D (designated ID) includes 10 stations and its total length is approximately 10.6km. It starts in Vinohrady by an interchange station for interchanging with line A at Náměstí Míru square, continues via the Nusle district (Náměstí Bratří Synků station) and Pankrác district (Pankrác station with a transfer to metro C and Olbrachtova station) and then to Krč district (Nádraží Krč station), Libuše district (Nové Dvory and Libuš stations) and Písnice district (Písnice station), where a new depot will be built at the same



Obr. 1 Situace úseku metra I.D mezi stanicemi Pankrác a Olbrachtova  
Fig. 1 Plan of metro ID section between Pankrác and Olbrachtova stations

– Depo Písnice. Především v oblasti přestupní stanice Pankrác a pokračování trasy metra ve směru ke stanici Olbrachtova představuje komplex ražených tunelů velmi složitý stavební projekt – jak vzhledem k náročnosti samotné konstrukce, tak i s ohledem na složité inženýrskogeologické poměry a významná geotechnická rizika spojená s negativním ovlivněním okolní zástavby, inženýrských sítí a stávajících objektů trasy metra C. Kromě dvoukolejných a jednokolejných traťových tunelů se zde nachází také velký rozplet do odstavného tunelu, umístěného vně trasy metra na východní straně přímo pod stávající nadzemní vícepodlažní budovou. Na opačné straně, opět vně trasy metra, je dále situována ražená jednokolejná spojka mezi trasami D a C, která je před stanicí Olbrachtova zaústěna do pravého jednokolejného traťového tunelu (obr. 1). Traťový úsek mezi jednolodní stanicí Pankrác a dvoulodní stanicí Olbrachtova je tak považován za jednu ze stavebně nejsložitějších částí celé nově projektované trasy metra D.

### RAŽBY NA MEZISTANIČNÍM ÚSEKU METRA

Ražby jednotlivých tunelů na úseku mezi stanicemi Pankrác a Olbrachtova byly zahájeny v průběhu měsíce dubna 2022 z šachty VO-OL, která byla společně s průzkumnou štolou, vedenou až do jižní části stanice Pankrác, realizována v rámci doplňujících geologických průzkumných prací prováděných v období červen 2020 až listopad 2021 [2], [3]. Před zahájením samotné výstavby předmětného úseku metra poskytl průzkum doplňující informace o celkové geologické stavbě území, včetně výskytu intruzivních vulkanických těles a oblastí významného tektonického porušení horninového masivu, a také umožnil upřesnit fyzikální a mechanické parametry vyčleněných geotechnických typů zemin a hornin v prostoru budoucích ražeb. Na základě výstupů doplňujícího geologického průzkumu byla upřesněna realizační dokumentace výstavby jednotlivých stavebních objektů.

Po více než roce a půl od zahájení výstavby byl v tomto mezistaničním úseku (obr. 1) vyražen celý dvoukolejný a oba jednokolejné traťové tunely mezi šachtou VO-OL a stanicí Olbrachtova. Dále byla vyhloubena šachta a tunel strojovny VZT, tunelové propojky mezi jednokolejnými tunely a téměř polovina spojky C–D. V současnosti probíhá ražba staničních tunelů a severní propojky stanice Olbrachtova a ražba pravé části dvoukolejného tunelu ve směru ke stanici Pankrác. Následně bude po dokončení zlepšení charakteristik horninového masivu sanačními injektážemi zahájena ražba rozpletu dvoukolejného tunelu a odstavného tunelu.

### INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ A GEOTECHNICKÉ PODMÍNKY RAŽEB

Předkvartérní podklad je v úseku ražeb mezi stanicemi Pankrác a Olbrachtova tvořen převážně nejmladšími horninami ordoviku v podobě kosovského, královodvorského a bohdaleckého souvrství. V prostoru jižně od šachty VO-OL se pak v prostředí bohdaleckých břidlic (obr. 2) vyskytuje také menší intruzivní těleso minety. Tato variská intruze je pravděpodobně karbonského stáří. V dosavadním průběhu ražeb mezistaničního úseku pak byly zastiženy pouze horniny bohdaleckého souvrství. Ražby v prostředí královodvorského a kosovského souvrství budou probíhat v severní části spojky C–D, dvoukolejném tunelu a rozpletu do odstavného tunelu blíže ke stanici Pankrác. Horniny ordovického podloží jsou v celém území překryty kvartérními sedimenty v podobě fluviálních a antropogenních uloženin. Fluviální sedimenty tvoří materiál vyšších terasových stupňů Vltavy v prostoru pankrácké plošiny (pankrácká terasa) s mocností nejčastěji v rozmezí 5 až 8 m. Jako materiál teras zde převažují hlinité písky až písčité hlíny, písky s kolísajícím podílem šterku a písčité šterky s valouny o velikosti do 15 až 20 cm. Antropogenní

time. With the exception of Nádraží Krč station, the entire route is under the ground. In terms of transport the most necessary is the section Pankrác – Depot Písnice, transport-necessary stage of the ID line construction project. Particularly in the area of the Pankrác interchange station and the continuation of the metro line in the direction of Olbrachtova station, the complex of mined tunnels represents a very complicated construction design – both due to the complexity of the construction itself, as well as with regard to the complicated engineering and geological conditions and the significant geotechnical risks associated with the negative impact on the surrounding buildings, utilities and existing objects along the metro C line. Apart from the double-track and single-track tunnels, there is also a large bifurcation chamber leading to a stabling tunnel located outside the metro line on the east side, directly under the existing above-ground multi-storey building. On the opposite side, again outside the metro line, there is further a mined single-track linking tunnel between lines D and C, which is connected to the right-hand single-track tunnel before Olbrachtova station (Fig. 1). The section between the one-vault Pankrác station and the 2-vault Olbrachtova station is thus considered one of the most structurally complex parts of the entire newly designed metro line D.

### MINING ON THE INTERSTATION SECTION OF METRO

The driving of the individual tunnels on the section between Pankrác and Olbrachtova stations was started in April 2022 from the VO-OL shaft, which together with the exploratory gallery leading to the southern part of Pankrác station was carried out within the framework of additional geological exploration operations carried out in the period from June 2020 to November 2021 [2], [3]. Prior to the commencement of the construction of the metro section itself, the survey provided additional information on the overall geological structure of the area, including the occurrence of intrusive volcanic bodies and areas of significant tectonic faulting of the rock massif, and also allowed to specify the physical and mechanical parameters of the selected geotechnical soil and rock types in the area of future excavation. On the basis of the outputs of the supplementary geological survey, the detailed design documentation for the construction of individual construction objects was refined.

After more than a year and a half since the start of construction, excavation of the entire double-track and both single-track tunnels between the VO-OL shaft and the Olbrachtova station was finished. In this intermediate section (Fig. 1). Furthermore, the shaft and tunnel of the HVAC machine room, tunnel cross passages between single-track tunnels and almost half of the C–D link were excavated. Currently, the station tunnels and the northern link of Olbrachtova station are being driven and the right-hand part of the double-track tunnel in the direction to Pankrác station is being excavated. Subsequently, after completion of the improvement of the rock mass characteristics by remedial grouting, the excavation of the double-track tunnel and the bifurcation chamber on the double-track tunnel and the stabling tunnel will start.

### ENGINEERING GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL CONDITIONS OF EXCAVATION

The pre-Quaternary bedrock in the section of excavation between the Pankrác and Olbrachtova stations consists mainly of the youngest Ordovician rock types in the form of the Kosov, Králův Dvůr and Bohdalec Formations. In the area of the VO-OL shaft there is also a smaller intrusive body of a minette in the Bohdalec shale. The area south of this Variscan intrusion is





Obr. 2 Bohdalecké břidlice s trilobitem rodu *Phacopidina* z hloubení šachty VO-OL

Fig. 2 Bohdalec shale with a trilobite of genus *Phacopidine* from the sinking of shaft VO-OL

uloženiny představují lokální terénní úpravy a zásypy výkopů stavebních jam, které vznikaly v průběhu výstavby města, např. zásyp hloubené stanice metra Pankrác C (dříve Mládežnická). Jejich výskyt, materiálové složení a mocnost jsou značně proměnlivé.

Břidlice bohdaleckého souvrství jsou jílovitoprachovité, tmavě šedě až šedočerné, slabě slídnaté (obr. 3). V hloubce ražeb jednotlivých tunelů jsou z hlediska stupně zvětrání zdravé. V tektonicky neporušeném stavu odpovídají pevnostní třídě R4, v silněji prachovitých polohách až R4–R3. V hornině je dobře patrná deskovitá až lavicovitá vrstevnatost. Horninový masiv je mimo poruchová pásma a okolí významnějších zlomů slabě až středně rozpukáný, nepravidelně prostoupený zpravidla třemi až čtyřmi základními extenzními systémy puklin, které jsou převážně částečně průběžné, rovinné, hladké, sevřené, často s bělavými povlaky sádrovice. Orientace vrstevních ploch je, zejména vzhledem k výskytu řady tektonických poruch, v rámci celého vyraženého úseku značně proměnlivá. Z hlediska geotechnických podmínek ražeb představují neporušené břidlice bohdaleckého souvrství poměrně vhodné horninové prostředí s dobrou stabilitou nezajištěného výrubu, příznivými pevnostními i deformačními charakteristikami horninového masivu a také minimálními přítoky podzemní vody.

V celém úseku ražeb mezi šachtou VO-OL a stanicí Olbrachtova byly v monotónním prostředí jílovitoprachovitých břidlic nepravidelně zastíženy deskovité až lavicovité polohy prachovců, vápnitých pískovců až písčitých vápenců spadajících pod tzv. polyteichovou facií bohdaleckého souvrství. Podíl těchto výrazněji pevnějších hornin se na jednotlivých čelbách pohyboval do max. 20 %. Význam těchto poloh z hlediska geotechnických podmínek ražeb spočívá jak v jejich obtížnější rozpojitelnosti, tak zejména v existenci řady

probably of Carboniferous age. Only rock types of the Bohdalec Formation have been encountered in the course of the excavation of the intermediate section so far. Tunnelling in the environment of the Králův Dvůr and Kosov formations will take place in the northern part of the C–D linking tunnel, the double-track tunnel and the bifurcation chamber leading to the stabling tunnel closer to Pankrác station. The Ordovician bedrock is overlain by Quaternary sediments in the form of fluvial and anthropogenic deposits throughout the area. Fluvial sediments form the material of the higher terrace stages of the Vltava River in the area of the Pankrác Plateau (Pankrác Terrace) with a thickness most often in the range of 5 to 8m. The terrace material is dominated by loamy sands to sandy clays, sands with varying proportions of gravel and sandy gravels with boulders up to 15 to 20cm in size. Anthropogenic deposits represent local terrain modifications and backfilling of excavation of construction pits that were created during the development of the city, e.g. backfilling of the cut-and-cover metro station Pankrác C (formerly Mládežnická). Their occurrence, material composition and strength are highly variable.

The shale of the Bohdalec Formation is clay-silty, dark grey to grey-black, slightly micaceous (Fig. 3). It is fresh in terms of the degree of weathering at the depth of the individual tunnels. In the tectonically intact state they correspond to strength class R4, in the more heavily silty positions up to R4–R3. Flat to tabular bedding is clearly visible in the rock. Outside fault zones and around major faults, the rock mass is weakly to moderately fractured, irregularly permeated with generally 3 to 4 basic extensional fracture systems, which are mostly semi-continuous, planar, smooth, tight, often with whitish gypsum coatings. The orientation of the bedding planes, especially due to the occurrence of a number of tectonic faults, is highly variable throughout the entire mined section. From the point of view of geotechnical conditions of mining, the undisturbed shales of the Bohdalec Formation represent a relatively suitable rock environment with good stability of the unsupported



Obr. 3 Zdravé břidlice bohdaleckého souvrství na čelbě pravého jednokolejného tunelu

Fig. 3 Fresh shale of the Bohdalec formation at the heading of the right-hand single-track tunnel





Obr. 4 Lavicovité polohy pískovců polyteichové facie v prostředí břidlic zastížené při ražbě dvoukolejného tunelu

Fig. 4 Tabular layers of sandstone polyteich facia in the environment of shales, encountered during excavation of double-track tunnel

otevřených puklin a s tím spojených intenzivních přítoků podzemní vody do výrubu (obr. 4). V okolí těchto poloh je pak výrazněji měkčí břidlice také často silně podrcena.

Z hlediska tektonického porušení jsou v horninovém masivu bohdaleckého souvrství často patrné sřížné pukliny s charakteristickými ohlasy, rýhováním a bělavými povlaky sádrovce. Téměř v celém vyraženém mezistaničním úseku byly zastíženy rovněž četné tektonické poruchy a poruchová pásma různých směrů a mocností (od prvních decimetrů až po více jak 10 až 15 m). V těchto poruchách i jejich blízkém okolí je hornina silně rozpukaná, s četnými ohlasy na úlomcích, často provrásněná, s nižší pevností R5–R4, místy až silně podrcená v jílovitou zeminu nebo drobné střípky s pevností R5–R6. Z hlediska podmínek ražeb úseky s velkým podílem tektonicky porušené horniny představují oslabené oblasti horninového masivu s výrazně horšími pevnostními a pře-tvárnými vlastnostmi. Rovněž stabilita nezajištěného výrubu je v případě silného tektonického porušení značně snížena. Kombinace několika nepříznivě orientovaných sřížných puklin s vyhlazeným povrchem pak může představovat velké riziko vyjíždění větších horninových bloků z čela výrubu nebo vzniku geologicky podmíněných nadvýlomů (obr. 5). Významné poruchové pásmo bylo zastíženo rovněž při hloubení přístupové šachty stanice Olbrachtova a následném zahájení ražeb severní propojky a eskalátorového tunelu. V případě této šachty byly téměř v celém rozsahu zastíženy výhradně silně rozpukané a podrcené břidlice, v četných polohách až charakteru jílovité zeminu s drobnými úlomky (obr. 6).

V oblasti jižně od šachty VO-OL bylo při ražbě dvoukolejného tunelu, přilehlé štoly VZT a spojky C–D, zastíženo masivní variské intruzivní těleso karbonské minety. Tato hornina je světle až tmavě šedá, s vysokou

excavation, favourable strength and deformation characteristics of the rock mass and also minimum groundwater inflows.

In the whole section of the excavation between the VO-OL, the shaft and the Olbrachtova station, platy to tabular beds of siltstone were irregularly encountered in the monotonous environment formed by clayey-silty shale, calcareous sandstone to sandy limestone belonging to the so-called polyteich facie of the Bohdalec Formation. The proportion of this more solid rock at individual headings was up to a maximum of 20%. The importance of these beds in terms of the geotechnical conditions of excavation lies both in their more difficult breaking characteristic and, in particular, in the existence of a number of open fissures and the intense inflows of groundwater into the excavation associated with them (Figure 4). In the vicinity of these layers, the much softer shale is also often heavily crushed.

In terms of tectonic faulting, shear fissures with characteristic polishes, striations and whitish coatings of gypsum are often visible in the rock mass of the Bohdalec Formation. Numerous tectonic faults and fault zones of various directions and thicknesses (from the first decimetres to more than 10 to 15m) were also observed in almost the entire mined interstation section. In these faults and their vicinity, the rock is strongly fractured, with numerous polishes on the fragments, often folded, with lower strengths R5–R4, in places heavily crushed with clayey soil or small shards with strengths R5–R6. In terms of the mining conditions, sections with a large proportion of tectonically faulted rock represent weakened areas of the rock mass with significantly worse strength and stress-strain properties. The stability of an unsupported excavation is also significantly reduced in the event of strong tectonic faulting. The combination of several unfavourably oriented shear fissures with a polished surface can then pose a high risk of larger rock blocks moving out of the excavation face or a failure of the geologically determined overburden (Figure 5). A significant fault zone was also encountered during the excavation of the Olbrachtova station



Obr. 5 Břidlice bohdaleckého souvrství se silným tektonickým porušením na čelbě levého jednokolejného tunelu  
Fig. 5 Bohdalec formation shale with heavy tectonic faulting at the heading of the left-hand single-track tunnel





Obr. 6 Hloubení šachty stanice Olbrachtova v poruchové zóně  
Fig. 6 Sinking of Olbrachtova station shaft in fault zone

pevností R3–R2, převážně nepravidelně slabě rozpukaná (pukliny rovné i zvlňené, s drsným povrchem, otevřené s železitými povlaky na povrchu nebo vyhojené kalcitem). Na kontaktu s minetou jsou okolní výrazně měkčí břidlice v pásmu o mocnosti zhruba 1,0 až 3,0 m silně podrcené v drobné úlomky s velmi nízkou pevností R5–R6 (obr. 7 a 8). V úseku tunelů s výskytem intruze minety byly geotechnické podmínky ražeb, kromě podrcení okolních břidlic, zhoršené jak obtížnou rozpojitelostí horniny, tak i častými přítoky podzemní vody vázanými na otevřené pukliny v minetě.

#### GEOTECHNICKÝ MONITORING RAŽEB

V rámci geotechnického monitoringu ražeb je prováděna standardní inženýrskogeologická a geotechnická dokumentace nezajištěné části výrubu. V rámci této činnosti jsou zaznamenávány jednak inženýrskogeologické a hydrogeologické údaje důležité z hlediska geotechnických podmínek ražby, jednak

access shaft and the subsequent commencement of excavation of the northern link tunnel and the escalator tunnel. In the case of this shaft, heavily fractured and crushed shales, in numerous layers up to the character of clayey soil with small fragments (Figure 6), were encountered in the whole extent of the excavation,

In the area south of the VO-OL shaft, a massive Variscan intrusive body of a Carboniferous minette was encountered during the excavation of the double-track tunnel, the adjacent ventilation adit and the C–D link tunnel. This rock is light to dark grey, with a high strength of R3–R2, mostly irregularly moderately jointed (both straight and undulating joints, with a rough surface, open with iron coatings on the surface or healed with calcite). On the contact with the minette, the surrounding much weaker shale in a zone approximately 1.0 to 3.0m thick is heavily crushed into small fragments with very low strength R5–R6 (Figures. 7 and 8). In the section of tunnels with the occurrence of the minette intrusion, the geotechnical conditions of the excavation, in addition to the crushing of the surrounding shale, were aggravated both by the difficult breaking characteristic of the rock and the frequent inflows of groundwater bound to open joints in the minette.

#### GEOTECHNICAL MONITORING OF TUNNEL EXCAVATION

Standard engineering geological and geotechnical documentation of the unsupported part of the excavation is carried out as part of the geotechnical monitoring of the excavation. This activity records both engineering geological and hydrogeological data relevant to the geotechnical conditions of the excavation and data related to the technology and implementation of the excavation itself. The description of the rock mass is carried out to enable its evaluation according to the tunnel classification systems used (mainly QTS). Within this activity, both engineering geological and hydrogeological data relevant to the geotechnical conditions of the excavation and data related to the technology and execution of the excavation itself is recorded. The description of the rock mass is carried out to enable its evaluation according



Obr. 7 Intruze tělesa masivní minety při ražbě dvoukolejného tunelu  
Fig. 7 Intrusion of a massive minette body during excavation of double-track tunnel

to the classification systems used by tunnellers (mainly QTS). The output of the excavation documentation are geotechnical passports with a graphic and text record of the established facts as well as a forecast and recommendation for further action. From the point of view of excavation technology, in addition to the requirements of the design and the results of other geotechnical monitoring activities, the outputs of the geological documentation are used to select the appropriate excavation support class both in terms of its overall safety and the construction economy. The evaluation of the encountered mining conditions of individual tunnels is also used to interpret the results of geotechnical monitoring measurements such as convergence of excavated spaces, extensometer and inclinometer measurements in boreholes or surface levelling in the settlement trough section.

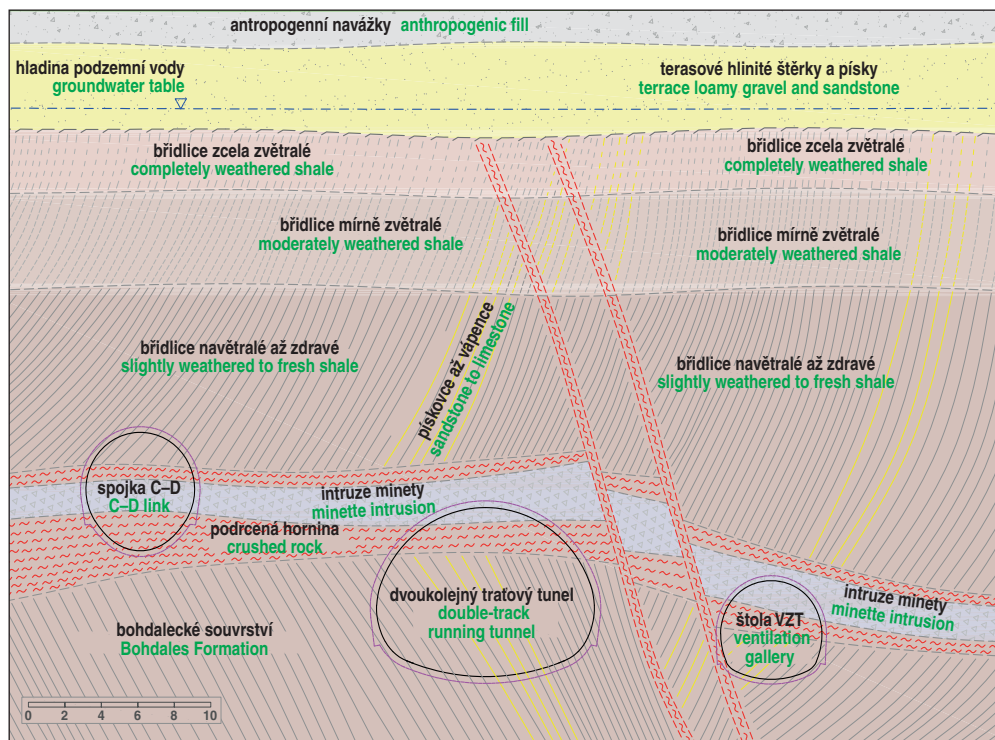
údaje související s technologií a realizací samotné ražby. Popis horninového masivu je prováděn pro možnost jeho hodnocení dle užívaných tunelářských klasifikačních systémů (především QTS). Výstupem dokumentace ražeb jsou geotechnické pasporty s grafickým a textovým záznamem zjištěných skutečností i prognózou a doporučením pro další postup. Z hlediska technologie ražeb jsou, kromě požadavků projektu a výsledků dalších činností geotechnického monitoringu, výstupy geologické dokumentace využívány pro zvolení vhodné technologické třídy ražeb jak z hlediska jejich celkové bezpečnosti, tak i z hlediska ekonomiky výstavby. Hodnocení zastižených podmínek ražeb jednotlivých tunelů rovněž slouží k interpretaci výstupů měření geotechnického monitoringu, jako jsou konvergence výrubů, extenzometrická a inklinometrická měření ve vrtech nebo nivelace povrchu v úseku poklesové kotliny.

## ZÁVĚR

Výstavba nové trasy metra I.D v Praze, v úseku mezi stanicemi Pankrác a Olbrachtova, je společně s předchozí etapou geologických průzkumných prací z hlediska inženýrské geologie a geotechniky jistě zajímavou a cennou zkušeností. V dosavadním průběhu ražeb jednotlivých stavebních objektů tohoto mezistaničního úseku bylo zastiženo horninové prostředí bohdaleckého souvrství s velmi variabilními podmínkami ražby od zdravých neporušených břidlic přes oblasti s výskytem výrazně pevnějších a vodonosných poloh polyteichové facie, oblasti se silným tektonickým porušením horninového masivu až po úseky ražeb s průniky masivních vulkanických hornin. Tyto skutečnosti potvrzují velký význam v předstihu prováděných geologických průzkumných prací pro upřesnění předpokládaných podmínek ražby a také geologické dokumentace ražeb pro její adaptaci na skutečně zastižené podmínky.

Mgr. JIŘÍ TLAMSA,  
*Jiri.Tlamsa@geotechnika.cz,*  
 JAN ZEMÁNEK,  
*Jan.Zemanek@geotechnika.cz,*  
 SG Geotechnika a.s.

Recenzoval / Reviewed by: RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D.



Obr. 8 Příčný inženýrskogeologický řez v prostoru ražeb s intruzí minety

Fig. 8 Engineering geological cross-section in the area of mining with intrusion of minette

## CONCLUSION

The development of the new metro line ID in Prague in the section between Pankrác and Olbrachtova stations, together with the previous stage of geological survey operations, is certainly an interesting and valuable experience from the point of view of engineering geology and geotechnics. In the course of the excavation for the individual construction objects in this intermediate station section, the rock environment of the Bohdales Formation with highly variable excavation conditions was encountered, ranging from fresh intact shale through areas with the occurrence of significantly stronger and water-bearing layers of the polyteich facies, areas with heavy tectonic faulting of the rock mass to sections of excavation with penetration of massive volcanic rock. These facts confirm the great importance of geological survey operations carried out in advance to specify the anticipated mining conditions and also the geological documentation of the mining to adapt it to the conditions actually encountered.

Mgr. JIŘÍ TLAMSA,  
*Jiri.Tlamsa@geotechnika.cz,*  
 JAN ZEMÁNEK,  
*Jan.Zemanek@geotechnika.cz,*  
 SG Geotechnika a.s.

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] Průběžné výsledky činnosti komplexního geotechnického monitoringu a pasportizace pro stavbu „Provozní úsek I.D metra – úsek PANKRÁC – OLBRACHTOVA. Sdružení „Krték D monitoring“ (sdružení firem SG Geotechnika, INSET, GeoTec GS, PUDIS): Praha, duben 2022–srpen 2023.
- [2] TLAMSA, J., ONYSKO, R., ZEMÁNEK, J., BOHÁTKA, J., BOHÁTKOVÁ, L. Závěrečná zpráva doplňkového inženýrskogeologického průzkumu – Výstavba trasy I.D metra v Praze – úsek Pankrác – Depo Písnice, Doplňkový geologický průzkum – úsek VO-OL; SG Geotechnika a.s.: Praha, listopad 2023.
- [3] TLAMSA, J., ONYSKO R. a ZEMÁNEK, J. Metro I.D – současný stav geologických průzkumných prací na úsecích VO-OL a OL1. *Tunel*. 2020, 29 (4), 44–53. ISSN 1211-0728.



# ZAJIŠŤOVÁNÍ HISTORICKÉHO DOLU JERONÝM Z POHLEDU GEOTECHNIKA

## REMEDIATION OF THE HISTORICAL JERONÝM MINE FROM GEOTECHNICAL POINT OF VIEW

MARTIN ŠEFRNA

### ABSTRAKT

*Důl Jeroným v Čisté ve Slavkovském lese se nachází v ložiskovém trojúhelníku Horní Slavkov – Krásno – Čistá, kde byl v minulosti předmětem těžby cín. Vydobyté komory, propojovací chodnice a přístupová důlní díla ohrožují nejen stabilitu povrchu, ale rovněž i silnici II/210 Krásno–Sokolov, v jejímž podloží se nacházejí. Jedná se o historická důlní díla, k nimž původní mapová dokumentace zcela chybí. Již v době objevu, v roce 1982 při jejich propadu, byla vzhledem k historickému významu, zachování kulturního dědictví lidu a svědectví jeho dějin odmítnuta varianta likvidace těchto důlních děl v podloží komunikace a bylo rozhodnuto o jejich zachování a zajištění tak, aby byla udržena nejen stabilita silnice, ale i vlastních podzemních historických objektů pro jejich případné zpřístupnění a využití v budoucnosti. Od té doby na lokalitě probíhají systematické zajišťovací práce kritických částí dolu ohrožujících stabilitu povrchu, a to včetně nezajištěných závalů a zatápějících se prostor. S využitím tradičních i moderních geotechnických metod a postupů zde probíhají stabilizační práce povrchu, historického podzemí a přístupových důlních děl.*

### ABSTRACT

*The Jeroným mine in Čistá in Slavkovský les is located in the ore deposit triangle Horní Slavkov – Krásno – Čistá, where tin ore was mined in the past. Excavated chambers, connecting corridors and access galleries threaten not only the stability of the surface, but also the road II/210 Krásno–Sokolov. These are historical mining works for which the original map documentation is completely missing. Already at the time of the discovery, in 1982 when they collapsed, due to their historical significance, the preservation of the cultural heritage of the people and the testimony of their history, the option of liquidating these mine works under the road was rejected, and it was decided to preserve and remediate them in such a way that stability would be maintained of not only of the road but also of the underground historic structures for making them accessible and for their utilization in the future. Since then, systematic work has been carried out on the site to stabilize critical parts of the mine that threatened the stability of the surface, including unremediated collapses and areas that are being flooded. With the use of traditional and modern geotechnical methods and procedures, stabilization of the surface, historical underground and access mine galleries is taking place there.*

### ÚVOD, STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA

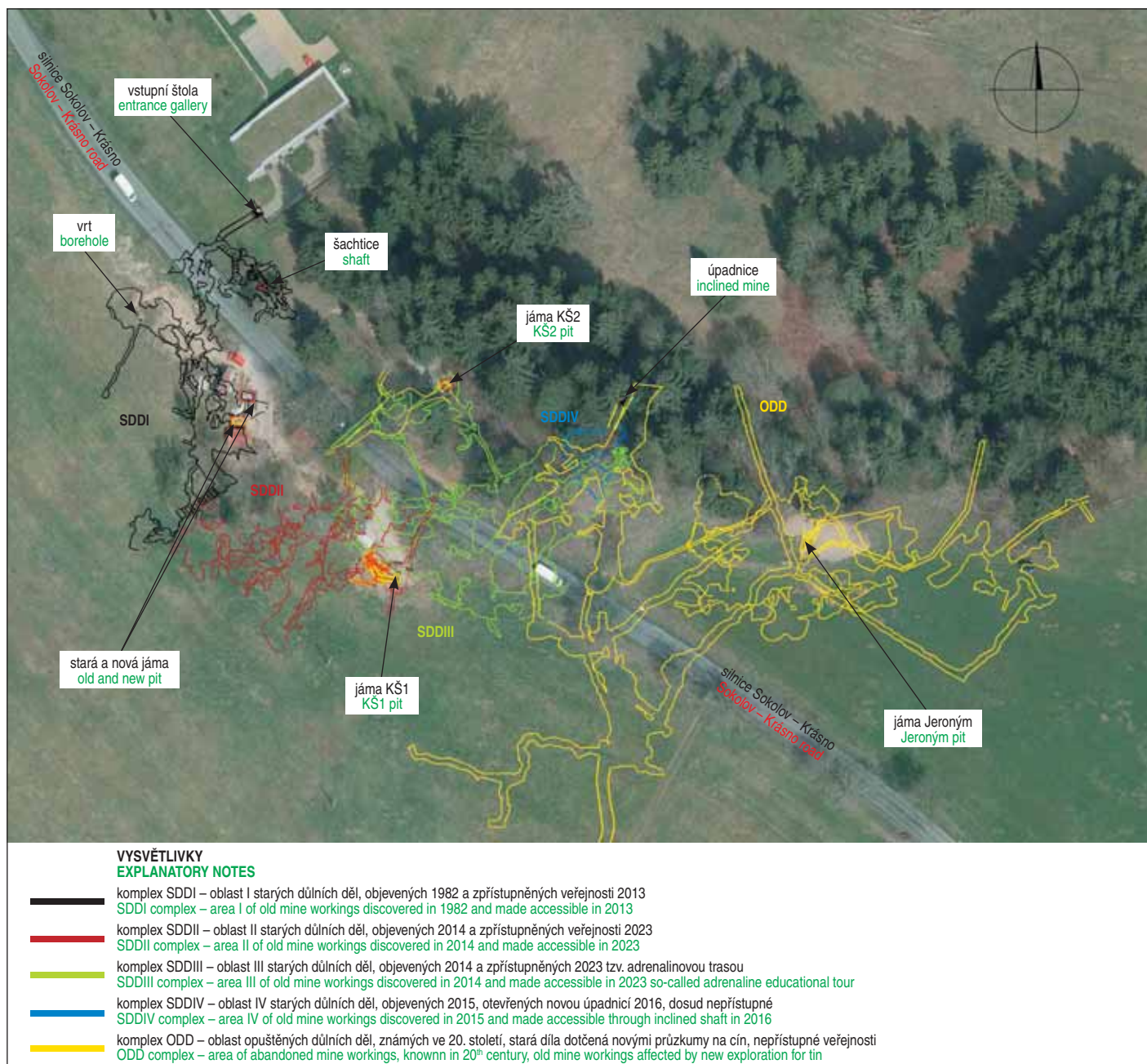
Lokalita se nachází 6 km od města Krásno ve směru na Sokolov. Důlní díla dolu Jeroným byla vyražena převážně v 16. století v době největšího rozmachu těžby cínových rud na našem území (obr. 1). Těžba zde probíhala podstatně dříve, již od 13. století rýžováním sekundárních ložisek cínu, než naši předci přešli k těžbě primárních ložisek. Stáří podzemních komor je prokázáno z datace výdřevy do 15. a 16. století. Těžba zde probíhala s přestávkami v průběhu 400 let a poslední práce zde souvisí s ověřováním bilančních zásob na Sn-W rudy ve druhé polovině 20. století.

Komplexy důlních děl dolu Jeroným jsou vyraženy v endokontaktu krušnohorských žul masívu Krudum, v jeho jižní části při kontaktu s nadložními biotitickými a dvojslídnyými pararulami různě intenzivně migmatizovanými a granitizovanými. Tvořeny jsou vydobytými komorami propojenými chodbicemi vyraženými v biotitické žule ve sklonu ložiska 20 až 45° k jihu (obr. 2 a 3). S povrchem komunikují prostřednictvím závalů vydobytých komor nebo šachtic. Mocnost nadloží činí na výchozu ložiska 2,0 m, v úrovni odvodňovací stoly až 50 m. Žuly jsou různě alterované, postižené postmagmatickými přeměnami (sericitizace, hematitizace, greisenizace), puklinovým systémem horninového masívu, tektonickými poruchami a žilnými strukturami. Předmětem těžby byl impregnovaný kasiterit v greisenizovaných žulách (metasomatické zrudnění), podřízeně drobné žilky a sledované žilné struktury. Zrudněné zóny v žulách (greiseny) tvoří v příkrovní zóně několik paralelních poloh, které byly předmětem exploatace a předurčovaly způsob rozfárání ložiska (obr. 3),

### INTRODUCTION, BRIEF CHARACTERISTICS

The location is 6km from the town of Krásno in the direction of Sokolov. The Jeroným mine was excavated mainly in the 16<sup>th</sup> century during the period of the greatest expansion of tin ore mining in our territory (Fig. 1). Mining took place here much earlier, already from the 13<sup>th</sup> century by panning of tin secondary deposits, before our ancestors moved on to mining primary deposits. The age of the underground chambers is proven from the dating of the old timber to the 15<sup>th</sup> and 16<sup>th</sup> centuries. Mining took place here with interruptions over the course of 400 years, and the last works here are related to the verification of reserves of Sn-W ores in the second half of the 20<sup>th</sup> century.

The Jeroným mine complex is excavated at contact with the Krušné Hory granites of the Krudum massif, in its southern part at the contact with the overlying biotite and two-mica paragneis, variously migmatized and granitized. They are formed by excavated chambers connected by corridors excavated in biotite granite at an inclination of 20 to 45° to the south (Figs. 2 and 3). They communicate with the surface through the collapse of excavated chambers or shafts. At the deposit outcrop, the thickness of the overburden is 2.0m, up to 50m at the level of the drainage gallery. The granites are variously altered, affected by post-magmatic transformations (sericitization, hematitization, greisenization), fracture system of the rock mass, tectonic disturbances and vein structures. The object of mining was impregnated cassiterite in greisenized granites (metasomatic ore), subordinate small



zdroj: SG Geotechnika, Olišar P. 2023 source: SG Geotechnika, Olišar P. 2023

Obr. 1 Schéma podzemí dolu Jeroným  
Fig. 1 Scheme of the Jeroným mine

tzv. nepravidelné komorové dobývání s ponechanými mezikomorovými pilíři kritických parametrů.

Poté co byla vyčerpána sekundární ložiska Sn rud (rýžoviště), byli naši předchůdci nuceni hledat primární ložisko na jeho výchozu, které těžili nejprve povrchoвым způsobem – odřez, lom, povrchové dobývky, následně způsobem hlubinným. Postupně se zahluvovali do horninového masivu k ložisku prostřednictvím sledných úpadnic (chodbic), svislých nálezných a těžních šachet (pink) a horizontálních průzkumných štol. Tyto sledné chodby a vyhledávací štoly byly vyraženy ručním způsobem, pouze pomocí mlátka a želízka v úsporném profilu až  $0,6 \times 1,2$  m (š  $\times$  v). Při ověření zrudnění byly tyto chodby a štoly rozšířeny pro těžbu užitkové složky rozptýlené v horninovém masivu až do současné podoby vytěžených komor tzv. šířením (obr. 4). K rozpojování bylo použito v nejstarších částech podzemí pouze mlátka a želízka, v těžebních komorách se kromě toho uplatnila kombinace s žárovou metodou *sázení ohně* (obr. 2, 4) [1]. V nově objevených částech dolu byly v roce 2022 zpozorovány na stěnách a stropě chodbic ručně vrtané maloprofilové vývrty s jílovou

veinů a hlavních žilových struktur. Mineralizované zóny v granitech (greisen) tvoří několik paralelních poloh v blízkosti kontaktní zóny, které byly předmětem těžby a určily způsob zastavení depositu (Fig. 3), i.e. irregular room-and-pillar mining.

Po vyčerpání sekundárních Sn rudních ložisek (panning fields) byli naši předchůdci nuceni hledat primární deposit na jeho výchozu, který těžili nejprve povrchoвым způsobem – odřez, lom, povrchové dobývky, následně způsobem hlubinným. Postupně se zahluvovali do horninového masivu k ložisku prostřednictvím sledných úpadnic (chodbic), svislých nálezných a těžních šachet (pinkas) a horizontálních průzkumných štol. Tyto sledné chodby a vyhledávací štoly byly vyraženy ručním způsobem, pouze pomocí mlátka a želízka v úsporném profilu až  $0,6 \times 1,2$  m (w  $\times$  h). Při ověření zrudnění byly tyto chodby a štoly rozšířeny pro těžbu užitkové složky rozptýlené v horninovém masivu až do současné podoby vytěžených komor tzv. šířením (obr. 4). V nejstarších částech podzemí bylo použito pouze mlátka a želízka, v těžebních komorách se kromě toho uplatnila kombinace s žárovou metodou *sázení ohně* (obr. 2, 4) [1]. V nově objevených částech dolu byly v roce 2022 zpozorovány na stěnách a stropě chodbic ručně vrtané maloprofilové vývrty s jílovou





foto Přibíl M. photo Přibíl M.

Obr. 2 Příklad rozfárání ložiska, komorové dobývání s navazujícími důlními díly

Fig. 2 An example of deposit mining, chamber mining with subsequent mine workings



foto Přibíl M. photo Přibíl M.

Obr. 3 Vytěžená zrudněná poloha, SDDII

Fig. 3 Excavated mineralized deposits, SDDII

ucpávkou a stopami po střelném prachu. Jedná se o dochované unikátní místo přechodu z ručního rozpojování na rozpojování pomocí trhačích prací. Trhačí práce černým prachem byly poprvé na světě komisionálně provedeny roku 1627 v Banské Štiavnici a znamenaly významnou změnu v procesu ražby a dobývání. Plně se využívaly až v 18. století [zdroj: Národní technické muzeum Praha]. Na základě řady pozorování v dole lze předpokládat, že ne všechny blokovité závaly zde vznikly překročením pevnostních parametrů ponechaných mezikomorových pilířů kritických rozměrů, ale byla zde uplatněna i dobývací metoda *těžby na zával*.

## METODY PRŮZKUMU PODZEMÍ

V důsledku požáru města Čistá (Lauterbach, od roku 1551 královské horní město) v roce 1772, nejsou dochovány žádné písemné materiály k historickému dolu, vyjma části opuštěného důlního díla (ODD), kde probíhalo v 60. letech ověřování bilančních zásob Sn-W rud. V průběhu zajišťovacích prací je tak nezbytné provádět systematický průzkum rozsahu poddolování – rozfárání ložiska a nově vznikající mapovou dokumentaci průběžně aktualizovat s novými objevy (obr.1). Kromě klasických geodetických metod

the underground, only a hammer and iron were used for rock disintegration, in addition, a combination with the fire-setting was used in the mining chambers (Fig. 2, 4) [1]. In newly discovered parts of the mine, hand-drilled small-profile boreholes with a clay plug and traces of gunpowder were observed on the walls and ceiling of the corridors in 2022. This is a unique preserved place of transition from manual excavation to blasting. Blasting works with black powder were commissioned for the first time in the world in 1627 in Banská Štiavnica and marked a significant change in the mining and mining process. They were not fully used until the 18<sup>th</sup> century [source: National Technical Museum Prague]. Based on a series of observations in the mine, it can be assumed that not all collapses were created by exceeding the strength parameters of the chamber pillars of critical dimensions, but the caving method was also applied here.

## METHODS OF UNDERGROUND SURVEY

As a result of the fire of the town of Čistá (Lauterbach, since 1551 the royal mining town) in 1772, no written materials about the historic mine have been preserved, except for a part of the abandoned mine workings (ODD), where verification of Sn-W ore reserves took place in the 1960s. In the course of the remediation works, it is therefore necessary to carry out a systematic survey of the extent of underground excavations – the opening of the deposit and to continuously update the newly emerging map documentation with new discoveries (Fig. 1). In addition to classic geodetic methods supplemented by speleological procedures, laser 3D scanning methods of accessible mine shafts have recently been applied, especially when designing the drainage of flooded parts of the mine (Fig. 5), when remediating rock collapses and connecting individual underground spaces separated by collapses (sections, cubature, break-out polygons, 3D models). The creation of the necessary purposeful longitudinal sections in relation to the surface proved to be crucial during the excavation work of the old shafts and their connection to the underground mines and corridors

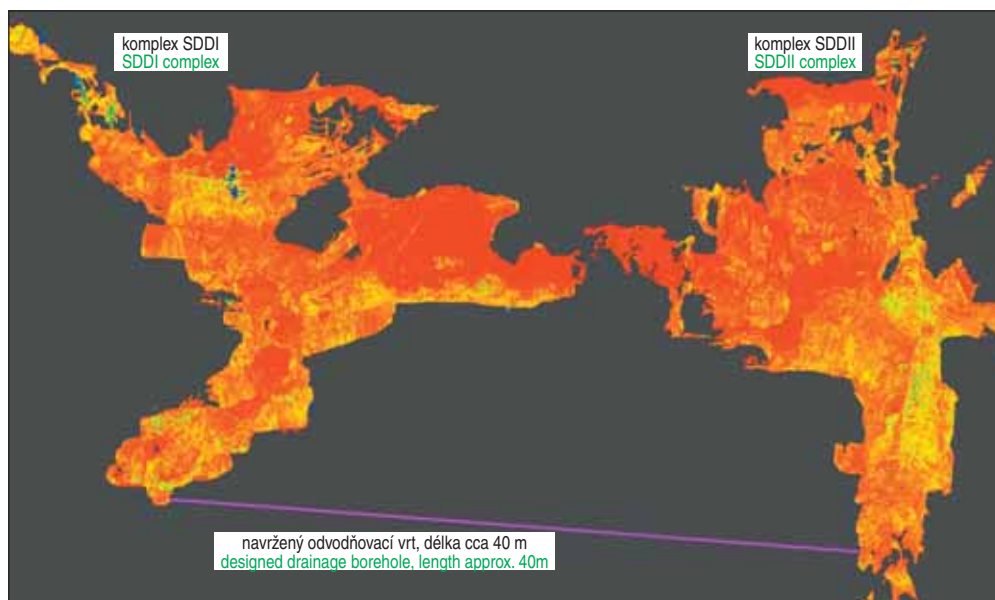


foto Přibíl M. photo Přibíl M.

Obr. 4 Komorové dobývání tzv. šířením

Fig. 4 Chamber stopping by so-called "corridors expansion"





zdroj: SG Geotechnika source: SG Geotechnika

Obr. 5 Návrh odvodňovacího vrtu mezi komplexy I a II, svislý pohled na model získaný 3D skenováním

Fig. 5 Design of the drainage borehole between complexes I and II, vertical view of the model obtained by 3D scanning

doplňených speleologickými postupy jsou v poslední době uplatňovány metody laserového 3D scanování přístupných důlních děl, a to zejména při navrhování a projektování odvodnění zatápějících se částí dolu (obr. 5), při zmáhání závalů a propojování jednotlivých podzemních objektů oddělených právě závaly (řezy, kubatura, prořázkové polygony, 3D modely). Tvorba nezbytných účelových podélných řezů ve vztahu k povrchu se při zmáhacích pracích starých šachet a jejich napojení na podzemní dobývky a chodbice vyražené ve více úrovních ukázala jako klíčová. V současné době se pracuje na využití jednotlivých prostorových 3D modelů podzemí pro vyhledávání původních propojení, dnes nepřístupných, mezi jednotlivými objekty bez nutnosti razit nová díla v historickém dole. V roce 2008 byl důl prohlášen za národní kulturní památku (NKP) *důl Jeroným* a veškeré práce zde probíhají pod dohledem Národního památkového ústavu (NPÚ) v Lokti.

Z nepřímých průzkumných metod byl v roce 2021 aplikován soubor geofyzikálních metod pro ověření stavu podloží komunikace a plánované modernizace silnice II/210. Nasazena byla zejména elektrická odporová tomografie, mělká refrakční seismika, georadar a mikrogravimetrie (obr. 6). Pro vyhledávání zasypaných starých šachet se osvědčily sondy dynamické penetrace, které byly využity rovněž i k ověření typu a kvality zásypů šachty, stanovení jejich hloubky a k přesné lokalizaci profilu pro založení úvodního rámu při jejich zmáhání. K podrobnému průzkumu pak byly použity přímé metody ověření geotechnického stavu důlních děl a okolního horninového masivu – fyzická prohlídka, plnoprofilové vrty a práce prováděné hornickým způsobem, to vše s geotechnickým dozorem a průběžným posuzováním stability masivu [2], [3]. Nedílnou součástí byl geotechnický monitoring uplatněný do stávajících důlních děl – konvergenční měření v komorách, strunové deformetry v mezikomorových pilířích, tlakové podušky mezi nově budovanými podpěrnými pilíři a stávajícím výrubem, 2D a 3D dilatometry na puklinách, tyčové extenzometry ve vrtech. Při zmáhání závalů mezi jednotlivými komplexy byly nasazeny v rámci observační metody strunové dilatometry na puklinách mezikomorového pilíře s online přenosem naměřené deformace pro řízení postupu a způsobu zajišťování závalu a zajištění stability nadloží komor. Na povrchu se uplatnily metody přesné nivelace povrchu komunikace.

excavated at several levels. Currently, work is being done on the use of individual spatial 3D models of the underground to search for original connections, today inaccessible, between individual spaces without the need to excavate new openings in the historic mine. In 2008, the mine was declared a national cultural monument (NKP) *Jeroným mine*, and all work is carried out here under the supervision of the National Monument Institute (NPÚ) in Loket.

Of the indirect survey methods, a set of geophysical methods was applied in 2021 to verify the state of the subsoil of the road and the planned modernization of road II/210. In particular, electrical resistivity tomography, shallow seismic refraction, georadar and microgravimetry were used (Fig. 6). Dynamic penetration probes have

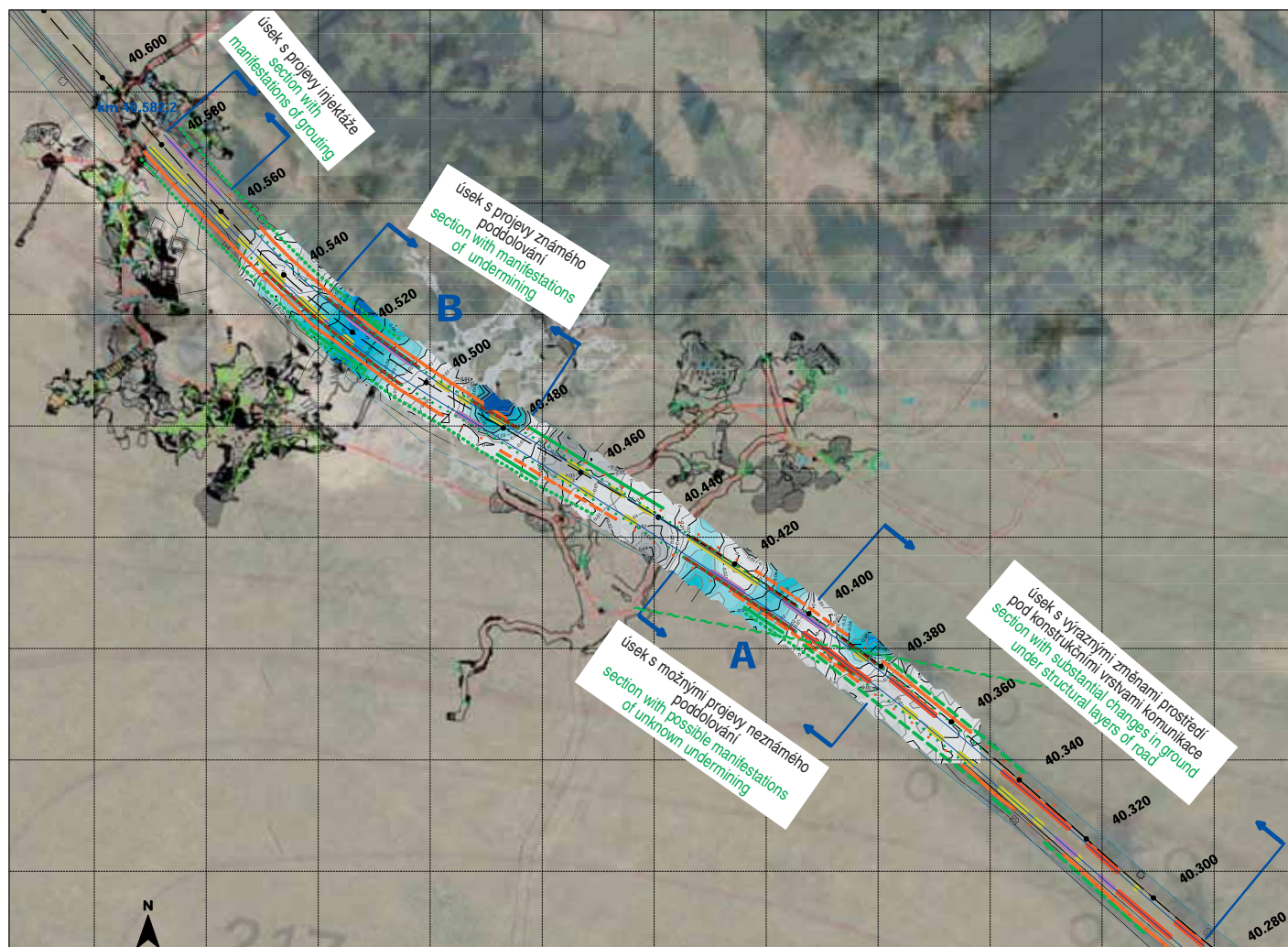
proven themselves for the search of filled-in old shafts, which were also used to verify the type and quality of the shaft backfills, determine their depth and to precisely locate the shaft profile for placing the initial frame during their excavation. Direct methods of verifying the geotechnical condition of the mine and the surrounding rock mass were then used for the detailed survey – physical inspection, borehole drilling and work carried out in a mining manner, all with geotechnical supervision and continuous assessment of the rock stability [2], [3]. An integral part of investigation was geotechnical monitoring which was applied to existing mine shafts – convergence measurements in chambers, string deformers in chamber pillars, pressure load cells between the newly built support pillars and the existing excavation walls, 2D and 3D dilatometers in fissures, rod extensometers in boreholes. When coping with collapses between individual mine complexes, string dilatometers were installed as part of the observation method of the cracks in the chamber pillar with online transmission of the measured deformation to control the progress and the method of collapse stabilization and ensuring the stability of the overburden above the chambers. On the surface, methods of precise leveling of the road surface were applied.

## RENEWED MINE ACCESSES

### Old shaft by the road location

One of the restored and remediated historical shafts is the *Stará Jáma* discovered during the excavation of the *Nová Jáma* shaft as part of ensuring the second entrance to the underground complex (Fig. 1). The remediation of the cave-in in a chamber led to the discovery of the *Stará Jáma* shaft, located approximately 7m from the shoulder of road II/210 Sokolov–Krásno. After carrying out exploration work on the surface and underground, the remediation documentation of the mouth and body of the shaft was prepared, taking into account the historical origin and in accordance with the procedures of the 16<sup>th</sup> century, supplemented by modern reinforcement methods. The mouth of the shaft was lined with local stone to a depth of 5.0m, the shaft body was supported with stone walls in places of the collapse initiation. The equipment of the pit is wooden with a mining and climbing areas with wooden ladders (Fig. 7). The depth is 24m, while





zdroj: SG Geotechnika source: SG Geotechnika

Obr. 6 Výsledky geofyzikálního průzkumu podloží silnice, poddolování  
 Fig. 6 Results of the geophysical survey of road subsoil, undermining

## OBNOVENÁ PŘÍSTUPOVÁ DŮLNÍ DÍLA

### Stará šachta u silnice

Jednou z obnovených a zajištěných historických šachet je Stará jáma objevená při hloubení Nové jámy v rámci zajištění druhého vstupu do podzemního komplexu (obr. 1). Zmáháním závalu v komoře došlo k objevu Staré jámy nacházející se cca 7 m od krajnice silnice II/210 Sokolov–Krásno. Po provedení průzkumných prací na povrchu a v podzemí byla zpracována dokumentace zajištění ohlubeně a stvolu jámy s přihlédnutím k historickému původu a v souladu s postupy 16. století, doplněnými moderními sanačními metodami. Ohlubeň jámy byla vyzděna z místního kamene do hloubky 5,0 m, stvol jámy byl zajištěn kamennou obezdívkou v místech navazujícího závalu. Výstroj jámy je dřevěná s těžním a lezným oddělením s dřevěnými žebříky (obr. 7). Hloubka činí 24 m, přičemž profil při povrchu je rozměrů  $2,5 \times 1,5$  m a směrem do hloubky k navazující komoře se postupně zmenšuje na  $1,2 \times 0,8$  m. Zachování původního profilu znamenalo přizpůsobení výstroje jámy skutečným rozměrům. Ze stvolu je vyraženo několik průzkumných rozrážek v úsporném profilu zakončených čelbou, přičemž v intervalu 8,0 až 12,5 m navazuje stvol na zavalenou komoru komunikující s povrchem. Kromě kamenné vyzdívky stěny jámy byl zával komory zabezpečen stabilizační stěnou z mikropilot po celé východní a jižní stěně, v počtu 14 ks, v délce 16 m, kotvených v pevné počvě komory v délce 2 až 3 m. Mikropiloty a zával byly stabilizovány cementovou injekční směsí s řízenou spotřebou.

the profile at the surface is  $2.5 \times 1.5$  m and gradually decreases with the depth to  $1.2 \times 0.8$  m towards the chamber connection. Preserving the original profile meant adapting the shaft equipment to the actual dimensions. Several exploratory galleries of an economical size are excavated from the shaft, while at an interval of 8.0 to 12.5 m, the shaft connects to a caved-in chamber which communicates with the surface. In addition to the stone lining of the shaft wall, the caved-in chamber was remediated by a stabilizing wall of micropiles along the entire eastern and southern walls, with 14 pieces, 16 m long, embedded in the solid ground of the chamber bottom for a length of 2 to 3 m. The micro-piles and the cave-in were stabilized with a cement injection mixture with controlled consumption volume. The body and the mouth of the shaft were stabilized as well as the subsoil of the road in the zone of influence.

### Collapse of the old shaft SDDII (KŠ1)

In the fall of 2017, the surface above the historic mine complex discovered in 2014 and documented in the following years (old mine shafts (SDD), area II) collapsed. The sinkhole, 5.0 m in diameter and 2.0 m deep, was subject to further exploration using dynamic penetration probes and one exploratory borehole. The results verified the existence of a vertical mine shaft 56 m deep. According to the newly compiled underground documentation, this shaft provides access to ore extractions at least at three depth levels representing mined-out mineralized positions. Subsequently, remediation work began in the sinkhole in order to stabilize and



*Obr. 7 Stará šachta u silnice po vystrojení v duchu 16. století*  
*Fig. 7 An old shaft by the road after being supported by the methods of the 16<sup>th</sup> century*

Stvol a ohlubeň jámy byly stabilizovány a podloží silnice v pásmu vlivu bylo zajištěno.

#### **Propad staré šachty SDDII (KŠ1)**

Na podzim roku 2017 došlo k propadu povrchu nad komplexem historických důlních děl objevených roku 2014 a v následujících letech zdokumentovaných (starých důlních děl (SDD), oblast II). Propad o průměru 5,0 m a hloubce 2,0 m byl podroben dalšímu průzkumu pomocí sond dynamické penetrace a jedním plnoprofilovým vrtem. Výsledky ověřily existenci svislého důlního díla hlubokého 56 m. Dle nově provedené dokumentace podzemí toto dílo zpřístupňuje dobývku minimálně ve třech hloubkových úrovních reprezentujících vydobyté zrudněné polohy. Následně započaly zmáhací práce v propadu za účelem jeho stabilizace a obnovení historické šachty (pracovně označené KŠ1). Geotechnický průzkum potvrdil velmi složité geotechnické poměry (závalové prostředí) s neurčitou polohou profilu šachty. Projekt navrhl vyzmáhání propadu šachty v profilu 2,6 × 1,6 m pomocí hnaného pažení union, s lezným a těžním oddělením, zavěšenou ocelovou důlní výztuží K21 v kroku 1,0 m na ohlubňovém rámu. Ten je zabudován v armované betonové ohlubňové desce o rozměrech 6,0 × 5,0 m, tloušťky 0,55 m, založené 2,0 m pod stávající úroveň terénu, tedy pod trychtýřem propadu. Předpokladem bylo realizovat průzkumné dílo za účelem ověření geotechnických poměrů propadu, původní šachty a skutečné hloubky skalního masivu v místě. Šachty v okolí zastihují skalní masiv většinou do hloubky 5,0 m. Ve skalním masivu mělo být pokračováno v duchu postupů 16. století dřevěnou výztuží kotvenou ve stávajícím horninovém masivu.

V průběhu prací se zjistilo, že jižní stěna od hloubky 11 m je tvořena skalním masivem původní jámy. Pro dosažení této hloubky již bylo nezbytné závalový zeminový materiál za pažením (zemina G3/S3-G5 s balvany) lokálně stabilizovat chemickou injektáží polyuretany. Ve 14 m se objevil i jihovýchodní roh původní jámy. Severní a západní bok jámy stále tvořil závalový materiál. Začalo tedy docházet k nerovnoměrnému sedání povrchu železobetonové desky ohlubeň 25 až 40 mm (obr. 8). Na základě doporučení statika byla provedena opatření spočívající v odlehčení zatížení od důlní výztuže. Severní stěna a severozápadní roh jámy byly podchyceny v hloubce 13 m vysokopevnostním vázacím řetězem G10-16 zakotveným na povrchu v betonovém bloku. V kombinaci s odlehčovacími věnci byly spodní rámy výztuže opřeny o injekční zavrtávací tyče R32/250, zakotvené a zainjektované do stávajícího horninového masivu [5]. Po realizaci těchto opatření se pokračovalo v hloubení

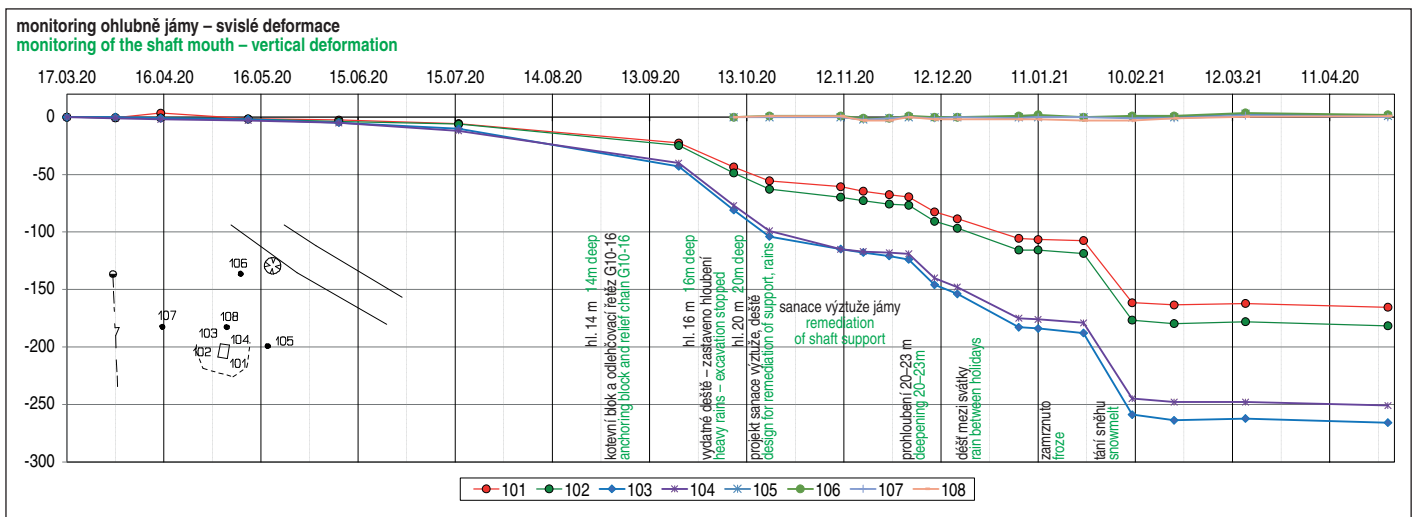
restore the historic shaft (labeled KŠ1). The geotechnical survey confirmed very complex geotechnical conditions (collapse area) with an undetermined position of the shaft profile. The project proposed to restore collapsed shaft by excavating a profile of 2.6 × 1.6m supported by steel-sheet forepoling (Union sheets), with a climbing and mining section, U-channel mine support steel ribs K21 suspended on a shaft mouth frame in a round length of 1.0m. The frame is built in a reinforced concrete slab with dimensions of 6.0 × 5.0m, thickness of 0.55m, embedded 2.0m below the existing ground level, i.e. below the sinkhole funnel. The premise was to carry out survey work in order to verify the geotechnical conditions of the sinkhole, the original shaft and the actual depth of the bedrock at the site. The shafts in the vicinity enter the rock mass mostly to a depth of 5.0m. In the rock mass it was to be continued in the spirit of the 16<sup>th</sup> century procedures with wooden timber embedded in the existing rock mass.

In the course of works, it was discovered that the southern wall from a depth of 11m is formed by the rock mass of the original shaft. In order to achieve this depth, it was already necessary to locally stabilize the backfill material behind the lagging (G3/S3-G5 of gneiss character with boulders) by chemical injection of polyurethane. At 14m, the southeast corner of the original shaft was also encountered. The north and west sides of the shaft were still made up of collapsed material. Therefore, uneven settlement of the surface of the reinforced concrete slab with a depression of 25 to 40mm began to occur (Fig. 8). Based on the recommendations of a structural engineer, measures were taken to relieve the load from the steel rib support. The north wall and northwest corner of the shaft were underpinned at a depth of 13m with a high-strength G10-16 tie chain anchored to the surface by a concrete block. In combination with relief rings, the lower steel support ribs were supported by injected borehole bars R32/250, anchored and injected into the existing rock mass [5]. After the executing these measures, excavation of the pit continued. At 16m, the southwestern corner of the original pit also began to show up.

At the beginning of October, after heavy rains, work had to be stopped when a depth of 20m was reached. Excessive vertical uneven deformation of the horizontal steel ribs from a depth of 4.0m (+24mm, +41mm), breakage of 3 hinges at the place of the bolt of the friction coupling of the mining section on the north wall and significant bulging of the hinges towards the shaft between the depths of 5 to 13m. During the development of the design and the construction of the necessary measures, unsuitable climatic conditions with new precipitations contributed to the further development of deformation (+14mm, +23mm) and rupture of the fourth hinge as well. Total deformation reached 63mm on the southern and 104mm on the northern wall. The course of the deformation is evident from the graph of the depression settlement monitoring (Fig. 8). At the end of October, remedial work was started according to the design of the structural engineer – strengthening and supplementing the hinges of the horizontal steel ribs along the entire depth of the shaft, adding steel spacers in the corners between the horizontal steel ribs against uneven settlement and strengthening with vertical waling beams along the entire height of the shaft by mine channel steel ribs K21 in the mining section (Fig. 9).

In the course of works and thanks to favorable climatic conditions, the trend of the deformation development of was mitigated. The development resumed after the pit was deepened to a depth of 23m, where there was the planned connection to the collapsed crosspassage and the adjacent mined-out chambers of the Jeroným mine complex. Monitoring carried out at the shaft mouth





zdroj: SG Geotechnika source: SG Geotechnika

Obr. 8 Monitoring sedání ohlubně staré šachty KŠ1  
Fig. 8 Subsidence monitoring of shaft mouth of the old shaft KŠ1

jámy. V 16 m se začal objevovat i jihozápadní roh původní jámy. Začátkem října, po vydatných deštích, musely být práce při dosažení hloubky 20 m zastaveny. Byly zjištěny nadměrné svislé nerovnoměrné deformace vodorovných rámuů důlní výztuže od hloubky 4,0 m (+24 mm, +41 mm), přetržení 3 ks závěsů v místě šroubu třmenové spojky těžního oddělení na severní stěně a místy výrazné vyboulení závěsů směrem do jámy mezi 5. až 13. m. V průběhu zpracování návrhu sanače a realizace nezbytných opatření přispěly nevhodné klimatické poměry novými srážkami k dalšímu rozvoji deformací (+14 mm, +23 mm) a přetržení i čtvrtého závěsu. Celkové deformace dosáhly 63 mm na jižní a 104 mm na severní stěně. Průběh deformace je zřejmý z grafu prováděného monitoringu sedání ohlubně (obr. 8). Na konci října byly zahájeny sanační práce dle návrhu statika – zesílení a doplnění závěsů vodorovných rámuů po celé výšce jámy, doplnění ocelových rozpěr v rozích mezi vodorovnými rámy proti nerovnoměrnému sedání a zesílení svislými převážkami po celé výšce jámy důlním profilem K21 v těžním oddělení (obr. 9). V průběhu sanačních prací a díky příznivým klimatickým poměrům došlo ke zmírnění trendu vývoje deformací. K jejich rozvoji opět došlo po prohloubení jámy na hloubku 23 m, do míst plánovaného napojení zavalené propojky a navazujících vydobytých komor komplexu dolu Jeroným. Monitoring prováděný na ohlubni jámy i v následujícím období prokázal svislé deformace důlní výztuže v závislosti na srážkách a tání sněhové pokrývky (obr. 8). Z tohoto důvodu byly v následujících letech realizovány sanační stabilizační injektáže závalového materiálu z povrchu, prohloubení jámy do úrovně skalního masivu a stabilizace stvolu jámy trvalou výztuží ze železobetonu s odlehčovacím věncem kotveným svorníky v úrovni ověřeného skalního masivu [5]. Dnes jsou tyto práce dokončeny. Betonový povrch tvoří strukturální matrice ve vzoru dřeva. Jáma je rozdělena na lezná a těžní oddělení, vybavena dřevěnými žebříky a povaly. Zavalená propojka do navazujících komor je vyzmáhána hornickým způsobem a zajištěna primární i trvalou výztuží v místě napojení na jámu. V průběhu hloubení bylo využito sond dynamické penetrace k ověřování závalu jámy na jejím dně a vyhledání skalního masivu pro zakotvení trvalé výztuže jámy (obr. 10). Při návrhu zmáhání propojky se využilo laserového 3D scanování propojovaných objektů pro projekt a pro stanovení potřebného výkazu výměr. Jáma dnes slouží k větrání zpřístupněného komplexu podzemních prostor, dopravě materiálu do podzemí, odtěžování závalového materiálu z navazujících podzemních prostor, provádění průzkumu a v neposlední řadě, v případě potřeby, jako úniková cesta pro návštěvníky podzemí v době turistické sezóny.

in the following period also demonstrated vertical deformation of the mine steel ribs reinforcement depending on precipitation and melting of the snow cover (Fig. 8). For this reason, in the following years, stabilization grouting of the collapsed material was performed from the surface, deepening of the shaft to the level of bedrock, and stabilization of the shaft with permanent reinforced concrete lining with a support collar anchored with bolts at the level of the confirmed rock level were realized [5]. Today these works are completed. The concrete surface has imprint of a wood pattern. The pit is divided into climbing and mining sections, equipped with wooden ladders and timber wood. The collapsed crosspassage connected to the chambers is mined and supported with primary and permanent lining at connection to the shaft. During excavation, a dynamic penetration probe was used to verify bottom level of the collapse and to locate the rock mass for anchoring the shaft permanent lining (Fig. 10). During the design of the crosspassage remediation, laser 3D scan of the connected mined spaces was used to determine the necessary dimensions. Today, the shaft is used to ventilate the accessible complex of underground spaces, to transport material underground, to muck collapsed material from adjacent underground spaces, to carry out research and finally, if necessary, to serve as an escape route for underground visitors during the tourist season.



Obr. 9 Zmáhání staré šachty v propadu, stav po sanaci výztuže KŠ1  
Fig. 9 Remediation of the old shaft in the collapsed area, situation after remediation of the KŠ1 support

## Těžní šachta SDDIII (KŠ2)

V rámci mezinárodní spolupráce Česko-bavorského geoparku vznikl projekt Žula a voda [4], který se zaměřil na cíle propojení jednotlivých komplexů dolu stávajícími neprůchodnými koridory v žulovém masivu postiženém závaly. Z předchozích průzkumů byly známy a zmapovány komplexy SDDII, SDDIII a objeven propojovací koridor v délce 80 m (na obr. 1 je již součástí SDDIII). Je tvořen dvěma průzkumnými štolami úsporného profilu, žilnou a úzkou dobývkou, závalem staré šachty a dvěma závaly na křížení štol a chodnice s navazující zavalenou komorou. Klíčové pro zpřístupnění a zajištění tohoto spojovacího koridoru bylo vyzmáhání a obnovení staré šachty (pracovně označené KŠ2), která se nacházela přímo na trase v místě zalomení a v polovině vzdálenosti spojovacího koridoru. Představovala ideální polohu pro těžní šachtu (dopravu materiálu a odtěžování závalů z trasy). Na povrchu byla její poloha rovněž výhodná pro snadný přístup techniky a odklizu vytěženého materiálu mezi povrchovými dobývkami a ostatními pínkami.

Sondy dynamické penetrace posloužily k ověření šachty, trychtýřovitého tvaru v zóně zvětrání, přesného profilu jámy, charakteru záspy/závalu a samotné hloubky. Na základě těchto výsledků byl vytvořen úvodní ohlubňový rám a vytvořeny předpoklady pro zajištění ohlubně. Vzhledem k historické hodnotě a vhodným geotechnickým podmínkám byly zvoleny hornické postupy 16. století s dřevěnou výztuží a výstrojí jámy s lezným a těžním oddělením do konečné hloubky 19 m [1]. Profil původní jámy na povrchu činil 2,4 × 2,2 m, světlý profil výstrojení 1,7 × 1,2 m. Dřevěná výztuž je kotvená v původních nebo v nově vytvořených kapsách horninového masivu. Původní profil šachty je směrem do hloubky nepravidelný a zmenšuje se. Vyražen je v navětralé a alterované žule. Rámy jsou osazeny v nepravidelných intervalech na vhodných místech s úpravou pro lůžka. V první polovině jámy nebylo použito pažení, vyjma ohlubně (obr. 11). Ta je na ústí v místě trychtýřovitého tvaru plně zapažená fošnami do hloubky 3,0 m a zajištěna betonem s výztuží. Do masivu je kotvená svorníky ve třech řadách. V druhé polovině hloubky šachty se již nachází rozfárání do navazujících komor severním a severovýchodním směrem, které byly ze 2/3 zaplněny závaly komunikujícími místy s povrchem. Šachta se v místě komory rozšířila na 4 až 5 m a zajišťování závalu v průběhu hloubení představovalo technický a časový problém. Zmáhání probíhalo v kroku 0,8 až 1,0 m za pomoci ručně předrážených jehel nebo jejich zarážením sbíjecími kladivý v rozteči 10 až 15 cm vzhledem k písčito-balvanitému charakteru závalu. Ocelové jehly byly stabilizovány v celé šíři komory rovnými profily důlní výztuže K21, zakotvené v bocích



Obr. 10 Průzkumné sondy dynamické penetrace v jámě KŠ1  
Fig. 10 Exploration probes of dynamic penetration in the KŠ1 shaft

## Mining shaft SDDIII (KŠ2)

As part of the international cooperation of the Czech-Bavarian Geopark, the Granite and Water project [4] was created, which focused on connecting individual mine spaces through existing impassable corridors in the granite massif affected by collapses. From previous surveys, the SDDII, SDDIII complexes were known and mapped, and an 80m long connecting corridor was discovered (in Fig. 1, it is already part of SDDIII). It is made up of two exploratory galleries of an economical profile, a narrow vein stope, collapsed old shaft and two collapses at the crossing of galleries and a corridor connected to caved-in chamber. The key to making this connecting corridor accessible and safe was the recovery and restoration of the old shaft (designated KŠ2), which was located directly on the route at the point of the bend and halfway through the connecting corridor. It represented an ideal location for a mining shaft (transportation of material and removal of muck from the route). Its surface location was also advantageous for easy access of equipment and removal of excavated material between surface extraction pits.

Dynamic penetration probes were used to verify the shaft, the funnel shape in the weathering zone, the exact profile of the shaft, the nature of the backfill/collapsed material and the depth. Based on these results, the initial support frame at the shaft mouth was laid out and prerequisites for remedying the shaft top were created. Due to the historical value and suitable geotechnical conditions, 16<sup>th</sup> century mining methods were chosen with wooden support and shaft equipment with climbing and mining sections to a final depth of 19m [1]. The profile of the original shaft on the surface was 2.4 × 2.2m, the clearance profile was 1.7 × 1.2m. The wooden support is anchored in the original or newly created pockets of the rock mass.



Obr. 11 Stvol staré šachty po vyzmáhání a výstrojení v duchu 16. století, KŠ2  
Fig. 11 Old shaft after remediation and equipment restoration by the methods of the 16<sup>th</sup> century, KŠ2



jámy do vytesaných lůžek opatřených svorníky a betonovou mazaninou. Stěna jámy v místě závalu byla dodatečně zapažena dřevěnými fošnami za nově osazené dřevěné rámy důlní výztuže. Následně byly vyzmáhány jámové závaly ve směru spojovacích koridorů a jáma mohla být využita k jejich obnově do původního profilu, ve směru do komplexu SDDIII v délce 40 m a ve směru do komplexu SDDII v délce 20 m. V současné době jáma slouží k přirozenému odvětrání jednotlivých komplexů, dopravě materiálů, odtěžování rubaniny z podzemí a v sezóně k výstupu návštěvníků podzemí z tzv. adrenalinové naučné prohlídkové trasy.

### SPJOVACÍ KORIDORY MEZI KOMPLEXY DOLU

Průzkumné práce v podzemí objevily potřebné propojky mezi komplexy důlních děl bez nutnosti ražby nových spojení v historickém dole a tím znehodnocení národní kulturní památky. Komplex starých důlních děl SDDI byl objeven v roce 1982, SDDII v létě 2014 a SDDIII na podzim 2014 (obr. 1). Jsou odděleny závaly nebo kombinací závalů a tvořeny nestabilními či neprůchodnými průzkumnými díly úsporných profilů vzniklých při vyhledávání zrudněných poloh. Komplex SDDI byl nově zajišťován převážně dozdiváním, přizdiváním stávajících porušených nebo zeslabených mezikomorových pilířů kritických parametrů a výstavbou nových podpěrných kamenných pilířů podfáraných horninových bloků. Při odtěžování závalů a splavených sedimentů v komorách byl při jejich odlehčování využit monitoring výrubu komor a jejich mezikomorových pilířů. Zároveň bylo řešeno zatápnění spodních částí dolu povrchovou vodou prosakující skrze závaly komunikující s povrchem. Komplex SDDI je pro návštěvníky dolu zpřístupněn novou štolou a šachtou od roku 2013.

Komplex SDDII byl objeven při vyzmáhání jedné z úsporně vyražených průzkumných štol. Vede z komory, v níž bylo následně objeveno dřevěné potrubí pro čerpání důlních vod a hlouběji na stěně geodetická značka *štufa 1629* (letopočet postupu prací v dole). Nevyhovující profil spojovací chodby 0,7 m<sup>2</sup>, výšky 1,2 m a šíře 0,6 m vedl ke vzniku projektu pro nalezení a vybudování nového vyhovujícího spojení. Existovalo pouze jediné řešení, a to vyzmáhání starého závalu propadu tzv. Velké pinky. Na povrchu se projevuje trychtýřovitým propadem o půdorysných rozměrech 22,0 × 15,0 m a hloubce 5,0 m. Vhodné místo ke zmáhání závalu bylo vytipováno v okrajové části komory s alespoň jednou pevnou skalní stěnou, o kterou se zapřely a do ní ukotvily uzavřené rámy důlní ocelové výztuže K21 lichoběžníkového profilu. Za pomoci předráženého pažení union bylo možné zával oddělit od budovaného průchozího koridoru profilu 3,6 m<sup>2</sup>. Krok výstavby důlní výztuže byl stanoven na 0,8 m s plným pažením čelby fošnami v horizontálním členění, tzv. děleními čílkou. Zmáhání závalu probíhalo v hloubce cca 30 m. Přestože bylo načasováno na červen, do období s vhodnými klimatickými poměry, došlo v pátek po deštích a opuštění pracoviště ke ztekucení jílovito-písčitého materiálu ze závalu v nadloží a k jeho přetečení přes zapaženou čelbu do již vyzmáhaného úseku v objemu 12 m<sup>3</sup>. Získané zkušenosti byly zapracovány do technologického postupu zmáhání s důrazem na kvalitní a stabilní zapažení čelby, zejména v horní části a zajištění proti destrukci při přívalu ztekucených materiálů závalu. V průběhu provádění prací a zmáhání závalu byl zajištěn kontinuální geotechnický monitoring přilehlého porušeného a zeslabeného mezikomorového pilíře, který měl být jednostranně odlehčen v důsledku odtěžení závalu v mocnosti až 2,5 m. Na odlučných trhlinách mezikomorového pilíře byly osazeny strunové dilatometry s online přenosem na webovou aplikaci. V současné době je spojovací koridor mezi komplexy SDDI a II zajištěn důlní ocelovou výztuží s ocelovými pažinami union a slouží k prohlídkám navazujících důlních děl.

The original profile of the shaft is irregular and decreases in depth. It is excavated in weathered and altered granite. Frames are fitted at irregular intervals in suitable bedding locations. Support was not used in the first half of the shaft, except for the shaft mouth (Fig. 11). The shaft mouth is in a funnel-shaped area, and it is fully braced with wood lagging to a depth. 3.0m and supported with reinforced concrete. It is anchored to the rock with bolts in three rows. In the second half of the shaft depth, there is already a passage into the chambers in the north and northeast direction, which were 2/3 filled with collapsed material and in places sinkholes communicated with the surface. The shaft widened to 4 to 5m at the chamber, and remedying the collapse during excavation represented a technical and time-consuming problem. Excavation took place in steps of 0.8 to 1.0m with the help of spiles driven manually or with pneumatic hammers at a spacing of 10 to 15cm due to the sandy-boulder nature of the collapsed material.

The spiles were supported across the entire width of the chamber by straight steel channel ribs K21, embedded in the sides of the shaft into carved-out pockets equipped with bolts and concrete mortar. The wall of the shaft at the collapse site was additionally braced with wooden lagging behind the newly installed wooden frames. Subsequently, the shaft collapsed sites in the direction of the connecting corridors were excavated and the shaft could be used for restoration to the original profile, in the direction of the SDDIII complex in a length of 40m and in the direction of the SDDII complex in a length of 20m. Currently, the shaft is used for natural ventilation of the individual complexes, transport of material, mucking from the underground and, in season, for the ascent of underground visitors from the so-called adrenaline educational tour.

### CONNECTING CORRIDORS BETWEEN MINE COMPLEXES

Exploration work in the underground discovered the necessary links between the mine complexes without the need to excavate new connections in the historic mine and thereby devalue the national cultural monument. The old mine complex SDDI was discovered in 1982, SDDII in summer 2014 and SDDIII in autumn 2014 (Fig. 1). They are separated by collapses or by a combination of collapses and are formed by unstable or impassable exploratory galleries of economical profiles created during the search for mineralized deposits. The SDDI complex was newly remediated mainly by adding masonry to existing broken or weakened chamber pillars of critical parameters and by construction of new supporting stone pillars made of rock blocks. Monitoring of the chambers walls and their pillars was used during mucking of the collapsed material and floated sediments in the chambers. At the same time, the flooding of the lower parts of the mine by surface water seeping through the collapses and communicating with the surface was solved. The SDDI complex has been accessible to mine visitors through a new tunnel and shaft since 2013.

The SDDII complex was discovered while excavating one of the exploratory galleries. It leads from the chamber, in which a wooden pipe for pumping mine water was subsequently discovered, and deeper on the wall, a geodetic mark of 1629 (date of work progress in the mine). The unsatisfactory profile of the exploratory gallery of 0.7m<sup>2</sup>, height 1.2m and width 0.6m led to a project task to find and build a new suitable connection. There was only one solution, and that was to reclaim the old sinkhole of the so-called Velká Pinka. On the surface, it manifests itself as a funnel-shaped depression with plan dimensions of 22.0 × 15.0m and a depth of 5.0m. A suitable place to remediate the collapse was selected in the peripheral part of the chamber with at least one solid rock wall, against which

O propojovacím koridoru SDDII–III byla již zmínka při obnově těžní šachty. Po vyzmáhání a zajištění tří závalů v trase a obnovení profilů úsporně vyražených chodeb je dnes zakomponován do návštěvnické adrenalinové trasy, která prochází nedotčenými historickými důlními díly z 15.–16. století a zpřístupňuje komplex SDDIII objevený v roce 2014 a zpřístupněný v roce 2023.

### OBNOVENÍ ODVODŇOVACÍHO KORIDORU A ODVODŇOVACÍCH ŠTOL

Jedním ze současných cílů projektu na dole Jeroným je zajištění kontrolovaného odtoku důlních vod ze zatápějících se částí dolu a obnova druhé, nově objevené, odvodňovací štoly Barbora. V prvním případě se jedná o komory a chodby zatápějící se v důsledku průsaků povrchových srážkových vod závaly do podzemí. Vyražená díla ve sklonu ložiska zde vytváří přirozený drenážní systém s akumulací vod v nejnižších částech dolu bez zajištěného gravitačního odtoku. Kromě průzkumu podzemí a nepropustných závalů, s hledáním přirozené cesty odtoku, je navržena a schválena varianta malo-profilového úpadního odvodňovacího vrtu mezi komorou komplexu SDDI a komorou komplexu SDDII v délce cca 40 m (obr. 5). Ta je průsaky skrze závaly napojena na stávající funkční odvodňovací štolu vyústěnou do místní vodoteče. K návrhu řešení tak náročného úkolu ve složitých podmínkách dolu bylo využito laserového 3D scanování zájmových prostor, které poslouží i pro následné vytyčení a nasměrování vrtných prací.

V druhém případě se jedná o obnovu zcela nepřístupné a neznámé odvodňovací štoly Barbora, postižené na trase velkým množstvím

the steel ribs K21 forming a trapezoidal profile could be braced or embedded into. With the help of steel-sheet forepoling pre-installed by hammering ahead of excavation face, it was possible to separate the cave-in from the current excavation of a corridor of the 3.6m<sup>2</sup> profile. The excavation round length and the ribs spacing was set at 0.8m and the excavation face was horizontally divided and each opening was fully supported by wooden lagging. The collapse remediation took place at a depth of approx. 30m.

Although works were planned for June, a period with suitable climatic conditions, on Friday, after the rains and workers leaving the workplace, the clayey-sandy material from the collapse in the overburden liquefied and overflowed through the face support with a volume of 12m<sup>3</sup> into the already reclaimed section. The experience gained in this way was incorporated into the technological process of remediation, with an emphasis on high-quality excavation face stabilization, especially at the roof, and protection against failure in the event of an inflow of liquefied collapse materials. During the execution of the works and the collapse remediation, continuous geotechnical monitoring of the adjacent broken and weakened chamber pillar was ensured, which was supposed to be unilaterally unloaded due to the removal of the caved-in material up to a height of 2.5m. String dilatometers were installed onto the separation cracks of the chamber pillar with online transmission to the web application. Currently, the connecting corridor between the SDDI and II complexes is supported by mine steel ribs with steel-sheet lagging and is used for inspections of the adjacent mine spaces.

The SDDII–III connecting corridor was already mentioned during the remediation of the mining shaft. After excavating and remedying three cave-ins in the route and restoring the profiles of the excavated corridors, today it is included in the visitor's adrenaline route, which passes through untouched historical mining parts from the 15<sup>th</sup> and 16<sup>th</sup> centuries, and makes available the SDDIII complex, which was discovered in 2014 and made accessible in 2023.

### RESTORATION OF THE DRAINAGE CORRIDOR AND DRAINAGE GALLERIES

One of the current goals of the Jeroným mine project is to ensure the controlled drainage of mine waters from the flooded parts of the mine and the restoration of the second, newly discovered Barbora drainage gallery. In the first case, these are the chambers and corridors that get flooded as a result of seepage of surface rainwater, which seeps into the underground through cave-ins. Excavations in a slope of the ore deposit form a natural drainage system with accumulation of water in the lowest parts of the mine without possibility of gravity drainage. In addition to the exploration of the underground and impermeable sinkholes, with the search for a natural drainage path, a variant of a small-profile drainage borehole between the chamber of the SDDI complex and the chamber of the SDDII complex with a length of about 40m is designed and approved (Fig. 5). This is connected through seeping sinkholes to the existing functional drainage gallery that discharges into the local watercourse. Laser 3D scanning of areas of interest was used to propose a solution for such a demanding task in the complex conditions of the mine, which will also be used for the subsequent layout and directing of drilling work.

In the second case, it concerns the remediation of the completely inaccessible and unknown Barbora drainage gallery, affected by a big number of large or small cave-ins along the route (Fig. 12). The gallery is excavated in the overlying gneiss and its length is expected to be approx. 450m. In previous years, its entrance was



Obr. 12 Stav odvodňovací štoly Barbora před obnovou  
Fig. 12 The state of the Barbora drainage gallery before remediation



větších či menších závalů (obr. 12). Štola je vyražena v nadložních rulách a její délka se předpokládá cca 450 m. V předchozích letech bylo provedeno zajištění jejího ústí, zajištěn gravitační odtok vytékajících důlních vod před štolou osazením odvodňovacího potrubí DN 250 v délce 60 m, uloženého v hloubce 2,5 až 5,0 m, a obnova úvodní části štoly v délce 40 m. V současné době probíhají práce na zajištění výrubu úvodní části štoly ve vytipovaných kritických úsecích, příprava na vymáhání navazujícího závalu a zajišťovací práce v místě nově vybudované šachtice v propadu štoly s 10 m mocným nadložím dotčeným antropogenní činností.

## ZÁVĚR

Důl Jeroným je historickou ukázkou hornické práce našich předků z období 15.–17. století nedotčené novodobou těžbou. Jedná se o unikátní a jedinečný komplex důlních děl dokumentujících způsob dobývání (obr. 2 až 4), průzkumu a řízení těžby v 16. století, známé především ze souhrnného díla Georgia Agricoly vydaného v roce 1556. Důl je otevřen klasickými středověkými šachticemi s obdélníkovým profilem, s pokračováním úklonnými a horizontálními chodbicemi a komorami s mnoha drobnějšími důlními díly různých funkcí a významu až do nejnižšího těžebního horizontu napojeného na odvodňovací štolu v délce přes 400 m. Pro vysoký stupeň zachování původní hornické práce a jedinečnost uchování historického dolu jako celku představuje důl Jeroným unikátní montánní památku reprezentující evropskou hornickou kulturu středověku. Přístup k záchraně a zajištění historického dolu je těmito skutečnostmi významně ovlivněn a zvolené postupy v maximální možné míře akceptují postupy 16. století. Ve výjimečných případech jsou voleny moderní metody zajištění a materiály, jejichž nasazení je nezbytné pro záchranu konkrétního díla, splnění účelu v reálných podmínkách a zajištění bezpečnosti provádění.

V květnu roku 2023 byl veřejnosti zpřístupněn komplex SDDII a ve formě adrenalinové trasy i komplex SDDIII. Podzemí historického dolu je rovněž využíváno Hasičským záchranným sborem Karlovarského kraje pro cvičení záchranných zásahů ve špatně přístupném prostoru. Slouží jako podzemní výzkumné pracoviště pro vysoké školy a vědecké instituce, včetně Národního památkového ústavu v Lokti, který zde provádí archeologický výzkum a průzkum montánního charakteru. Pro báňské záchranáře je to vhodná cvičná lokalita osvojování báňských záchranných postupů a zásahů v autentickém hornickém prostředí.

Na lokalitě budou nadále pokračovat zajišťovací práce charakteru obnovy odvodňovací štoly, zajištění gravitačního odtoku důlních vod, včetně zajištění vybraných kritických částí dolu.

Ing. MARTIN ŠEFRNA,

Martin.Sefrna@geotechnika.cz, SG Geotechnika a.s.

Recenzoval / Reviewed by: Ing. Libor Mařík

remediated, and the mine waters gravity draining by installing a DN250 drainage pipe in a length of 60m, laid at a depth of 2.5 to 5.0m, and the front part of the gallery with a length of 40m has been restored. Work is currently underway to stabilize excavated walls of the entrance part of the gallery in selected critical sections, and to prepare for coping with adjacent collapse and for remediation work at the site of the newly built shaft in the gallery cave-in under a 10m thick overburden affected by anthropogenic activity.

## CONCLUSION

The Jeroným Mine is a historical example of the mining work of our ancestors from the 15<sup>th</sup>–17<sup>th</sup> centuries untouched by modern mining methods. It is a unique mine complex documenting the method of mining (Fig. 2 to 4), exploration and management of mining in the 16th century, known mainly from the comprehensive work of Georgia Agricola published in 1556. The mine is opened by classic medieval shafts with a rectangular profile, and includes inclined and horizontal corridors and chambers with many smaller mine parts of various functions and significance up to the lowest mining horizon connected to a drainage gallery over 400m long. The Jeroným mine represents a unique monument representing the European mining culture of the Middle Ages thanks to the high degree of preservation and the preservation uniqueness of the historic mine. The approach to safeguarding and remediation of the historic mine is significantly influenced by these facts, and the chosen procedures use the procedures of the 16<sup>th</sup> century as much as possible. In exceptional cases, modern support methods and materials are chosen, whose utilization is necessary for preservation of specific parts, and for ensuring the safety of remediation in real conditions.

In May 2023, the SDDII complex and, in the form of an adrenaline route, also the SDDIII complex were made available to the public. The underground of the historic mine is also used by the Fire and Rescue Service of the Karlovy Vary region for practicing rescue interventions in hard-to-reach areas. It serves as an underground research facility for universities and scientific institutions, including the National Monument Institute in Loket, which conducts archaeological research and mining exploration. For mine rescuers, it is a suitable training location for mastering mine rescue procedures and interventions in an authentic mining environment.

At the locality, remediation work for the restoration of the drainage gallery, ensuring the gravity drainage of mine waters, including the stability of selected critical parts of the mine, will continue.

Ing. MARTIN ŠEFRNA,

Martin.Sefrna@geotechnika.cz, SG Geotechnika a.s.

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] AGRICOLA, G. *Jiřtého Agricoly Dvanáct knih o hornictví a hutnictví*. Ostrava: Montanex, 2001. ISBN 80-7225-057-4.
- [2] BARTOŠ, S. Posouzení geomechanických vlastností horninového prostředí z hlediska vlivu SDD na stabilitu povrchu v lokalitě Čistá u Rovné. Kladno: 2003, 21 s.
- [3] ŠEFRNA, M., KOVÁŘ, J. Soubor projektové dokumentace stavby Náprava škod způsobených dobýváním cínu na ložisku Čistá-Jeroným. Příbram: Geomont, 2013, 128 s.
- [4] ŠEFRNA, M. Dokumentace stavby Žula a voda – Propojení komplexů v žulovém masivu Krudum za účelem zpřístupnění dolu Jeroným. Praha: SG Geotechnika, 2021, 86 s.
- [5] SEDLÁČEK, M. Statické doplnění projektu jáma KŠ1, Trvalá výztuž a definitivní výstroj KŠ1. Praha: 2020, 2021, 92 s, 84 s.

# FOTOREPORTÁŽ ZO SLÁVNOSTNÉHO OTVORENIA RÝCHLOSTNEJ CESTY R4 PREŠOV, SEVERNÝ OBCHVAT, I. ETAPA, S TUNELOM BIKOŠ DŇA 25. SEPTEMBRA 2023 PICTURE REPORT FROM THE OPENING CEREMONY OF THE FAST HIGHWAY R4 PREŠOV, NORTHERN BYPASS, STAGE I, WITH THE BIKOŠ TUNNEL ON 25 SEPTEMBER 2023

ZDROJE FOTOGRAFÍ: ARCHÍV TUCON, A. S. / PHOTO SOURCES: ARCHIVE OF TUCON, A. S.



Obr. 1 Úsek rýchlostnej cesty pred severným portálom tunela Bikoš  
Fig. 1 Fast highway section in front of the northern portal of the Bikoš tunnel



Obr. 2 Pohľad dovnútra tunela v mieste núdzového zálivu  
Fig. 2 A view down the tunnel in the location of emergency lay-by



Obr. 3 Slávnostné otvorenie I. etapy severného obchvatu mesta Prešov  
Fig. 3 Opening ceremony of Prešov northern bypass, stage I



Obr. 4 Strihanie pásky pred portálom tunela  
Fig. 4 Tape cutting in front of tunnel portal



Obr. 5 Severný portál tunela  
Fig. 5 Northern portal of the tunnel



Obr. 6 Rýchlostná cesta v úseku pred južným portálom  
Fig. 6 Fast highway section in front of southern portal



## FOTOREPORTÁŽ Z VÝSTAVBY TUNELU POHŮRKA PICTURE REPORT FROM POHŮRKA TUNNEL CONSTRUCTION

FOTO ING. MARIÁN FAKTOR A ING. PAVEL RŮŽIČKA, PH.D. / PHOTO ING. MARIÁN FAKTOR AND ING. PAVEL RŮŽIČKA, PH.D.



Obr. 1 Pohled na jižní portál tunelu Pohůrka (aktuální stav)  
Fig. 1 A view of the Pohůrka tunnel southern portal (current state)



Obr. 2 Pohled na severní portál tunelu Pohůrka (aktuální stav)  
Fig. 2 A view of the Pohůrka tunnel northern portal (current state)



Obr. 3 Bednění střední dělicí stěny a stropní desky  
Fig. 3 Central dividing wall and floor slab Formwork



Obr. 4 Výztuž spodní desky  
Fig. 4 Reinforcement of bottom slab



Obr. 5 Budoucí propojení tunelových trub  
Fig. 5 Future cross passage between tunnel tubes



Obr. 6 Výplň prostoru mezi konstrukcí tunelu a štiťovnicemi popůlkobetonem  
Fig. 6 Filling of space between tunnel structure and sheetpiles with cinder concrete

# Odborná společnost K.B.K. fire s.r.o.

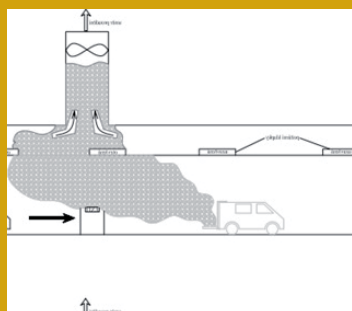


■ **Zajištění komplexních služeb  
v oblasti Požární bezpečnosti staveb**

■ **Zajištění  
Komplexních koordinačních  
funkčních zkoušek** požárně  
bezpečnostních zařízení  
patentovou metodikou  
za pomoci zkušebního aerosolu  
s cílem ověření funkčnosti  
požárního větrání  
a navazujících zařízení  
v tunelech v ČR a Evropě

■ **Projektování tunelů  
z hlediska PBS**

■ **Servisní činnost a kontroly  
provoznosti** požárně  
bezpečnostních zařízení  
v tunelech v ČR a Evropě vč.  
provádění Hlavních prohlídek  
tunelů.



[www.kbkfire.cz](http://www.kbkfire.cz)



# Počítejte s námi!

5 let  
na trhu

Pět let nasazení a odhodlání dělat věci tím nejlepším způsobem. Pět let, které potvrzují, že cesta, po které jsme se vydali, je správná.

20 let  
zkušeností

Jsme odborníci s více než dvaceti lety zkušeností v oboru. Projektujeme, optimalizujeme, kontrolujeme, měříme, vyhodnocujeme, dozorujeme. Zvládáme vše, co od nás klienti čekají. Rychle, precizně, spolehlivě.

200  
úspěšných  
realizací

Máme za sebou zajímavé, jedinečné projekty, které důkladně prověřily naše schopnosti. Věříme, že jsme obstáli se ctí, a těšíme se na nové výzvy.

100 %  
nasazení

Ke každému projektu přistupujeme s maximálním soustředěním a plnou zodpovědností. K těm, které jsme již zrealizovali, i k těm, které právě stojí před námi.



**TERRESTA**  
COKOLI NA ZEMI

Jsme Terresta a i pro vás jsme připraveni udělat cokoli na zemi.

## ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB THE WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

### SEDMDESÁTILETÉ VÝROČÍ OTEVŘENÍ LETENSKÉHO TUNELU SEVENTY-YEAR ANNIVERSARY OF THE OPENING OF THE LETNÁ TUNNEL

On 26 September 1953, the 423m long Letná tunnel was opened. It became the second Prague road tunnel after the Vyšehrad tunnel. The Letná portal on the northern side of the tunnel was located in Nad Štolou street, where a 160m long ramp was built, while the southern portal on the Vltava river embankment was directed to the Šverma bridge, today the Štefánik bridge. The Letná tunnel was largely constructed in Ordovician shale using the classical Austrian System. There were two extremely complicated places on the tunnel route. In the southern part, the tunnel collided with one of the five shafts from which the historic Rudolf's Gallery was dug at the end of the 16<sup>th</sup> century, providing water for the ponds in the then Royal Game Preserve (today's Stromovka Park).

In the northern part of the tunnel, its route passed under the building of the agricultural museum, whose foundations had to be stabilised by a structurally very demanding construction of reinforced concrete underpinning beams. In 2002, the Letná tunnel underwent reconstruction, during which the original granite cobblestone pavement was removed and the lighting on the walls was replaced by fluorescent lighting in the tunnel vault. A high quality safety system connected to a central control room was also installed to monitor the traffic situation, accidents and increased temperatures in the event of a fire. The flood in 2002 caused



archiv autora author's archive

Obr. 1 Otevření Letenského tunelu 26. září 1953  
Fig. 1 Letná tunnel opening on 26 september 1953



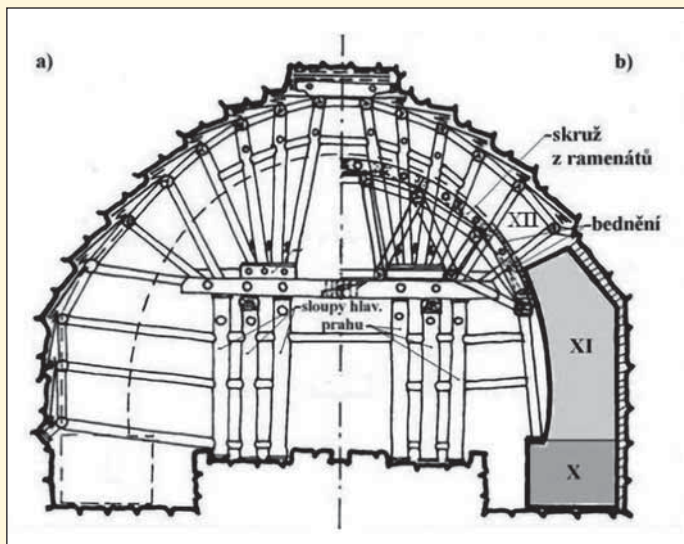
Obr. 2 Trasa Letenského tunelu  
Fig. 2 Letná tunnel route

<https://mapy.cz> <https://mapy.cz>

a significant growth in deformations in the area of the base of the southern slope of the of Letná plain, which resulted in cracks in the tunnel lining. The proposed rehabilitation measure consisted of a 70cm thick reinforced concrete portal wall into which the heads of very long six-strand anchors with a capacity of 840kN were embedded. The rehabilitation of the portal, which was carried out between October and December 2002, reliably ensures the permanent stability of the southern slope of the Letná plain.

Prvním pražským silničním tunelem byl pouhých 35 m dlouhý Vyšehradský tunel propojující Nové Město s Podolím od roku 1904. Až téměř po padesáti letech, 26. září 1953, byl otevřen druhý tunel – Letenský, od jehož slavnostního otevření uplynulo nedávno sedmdesát let (obr. 1).

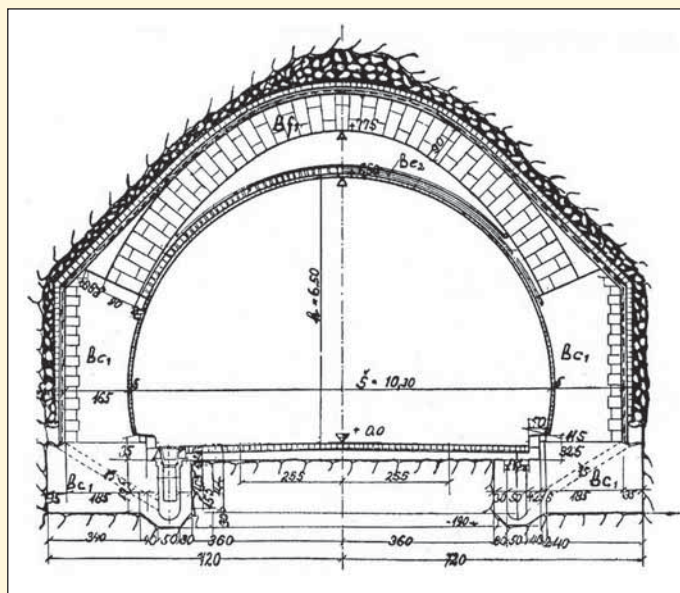
První dva dny mohli tunel využívat jen chodci, poté byl umožněn i automobilový provoz. O stavbě této důležité komunikace propojující Letnou a Nové Město jednaly úřady od první poloviny 20. století, k již zcela zapomenutým povrchovým řešením patří realizace lanové dráhy z období Všeobecné výstavy v roce 1891 a jezdící schody z 30. let minulého století. Příslušnými úřady (magistrátem a ministerstvem veřejných prací) byl upřednostněn návrh na realizaci podzemní stavby, ten však byl několikrát měněn,



Obr. 3 (a) Vyděva plného výlomu, (b) skruž pro zdění klenby

Fig. 3 (a) Timbering of full excavation, (b) scaffolding for vault bricklaying

[archív autora](#) [author's archive](#)



Obr. 4 Původní výkres příčného řezu – typ 2

Fig. 4 Original drawing of the cross-section – type 2

[archív autora](#) [author's archive](#)

vypuštěn byl např. záměr vést tunelem tramvajovou trať. Konečný projekt byl vytvořen v druhé polovině 40. let 20. století.

Trasa Letenského tunelu v délce 423 m byla navržena částečně v přímé, se dvěma protisměrnými oblouky o poloměru 100 a 169 m u portálů, s niveletou ve sklonu 5,5 %. Letenský portál na severní straně tunelu byl situován do ulice Nad Štolou, v níž byla vybudována 160 m dlouhá rampa, jižní portál u vltavského nábreží byl nasměrován na Švermův most, dnes Štefáníkův (obr. 2).

Ražba Letenského tunelu byla v ordovických břidlicích z podstatné části realizována klasickou Rakouskou soustavou používající jako dočasné zajištění výrubů výdřevu. Výdřeva plného výlomu je znázorněna na obr. 3a, včetně skruže pro zdění klenby (obr. 3b). Definitivní ostění tunelu s vnitřní šířkou 10,3 m a výškou 6,5 m (obr. 4) bylo vytvořeno opěrami z monolitického betonu, nosná horní klenba byla vyzděna z betonových klenáků váhy cca 90 kg. V části tunelu byla provedena vnitřní meziklenba vytvářející prostor pro nucené větrání tunelu (instalace ventilátorů proběhla až třináct let po otevření tunelu, v roce 1966). Líc definitivního ostění byl obložen světlými keramickými dlaždicemi.

V trase tunelu byla dvě mimořádně komplikovaná místa. V jižní části došlo při ražbě ke kolizi s jednou z pěti šachet, z nichž byla na konci 16. století ražena historická Rudolfova štola zajišťující napájení jezírek v tehdejší Královské oboře (dnešní Stromovce). Část šachty, která je na uměleckém plánu Rudolfovy štoly označena jako čtvrtá (el quarto), musela být vybourána a zbytek byl zaslepen. V severní části tunelu procházela jeho trasa pod budovou zemědělského muzea, jehož základy musely být zajištěny stavebně velmi náročnou konstrukcí železobetonových podchycovacích nosníků (obr. 5).

V roce 2002 prošel Letenský tunel rekonstrukcí, při níž byla z vozovky odstraněna původní dlažba z žulových kostek a osvětlení na stěnách bylo nahrazeno zářivkovým osvětlením v klenbě tunelu. Instalován byl také kvalitní bezpečnostní systém napojený na centrální dispečink monitorující dopravní situaci, nehody a zvýšenou teplotu při vzniku požáru.

Povodeň v roce 2002 vyvolala výrazný nárůst deformací v oblasti paty svahu jižní straně Letenské pláň, které se na ostění tunelu projeví trhlinami. Navržené sanační opatření bylo tvořeno





archiv autora author's archive

Obr. 5 Podchycení budovy zemědělského muzea železobetonovými nosníky  
Fig. 5 Underpinning of Museum of Agriculture with reinforced concrete beam

portálovou železobetonovou stěnou tloušťky 70 cm, do níž byly zapuštěny hlavy velmi dlouhých šestipramencových kotev s únosností 840 kN. Předpjaté kotvy v počtu 8 ks na každé straně portálu mají délku 45 m a kořen dl. 16 m upnutý do zdravé horniny



archiv Zakládání staveb, a.s. Zakládání Staveb, a.s. archive

Obr. 6 Sanace jižního portálu po povodni v roce 2002  
Fig. 6 Stabilisation of southern portal after the flood in 2002

(obr. 6). Sanace portálu, která byla provedena v říjnu až prosinci 2002, spolehlivě zajišťuje trvalou stabilitu jižního svahu letenské pláně.

prof. Ing. JIŘÍ BARTÁK, DrSc.

## CYKLISTICKÝ TUNEL V NORSKÉM BERGENU JE OTEVŘEN THE CYCLE TUNNEL IN BERGEN, NORWAY IS OPEN

Basic information about the planned long cycle tunnel in Bergen was presented in TUNNEL No. 2/2023 in the section From the world of underground construction under the title A long tunnel opens for cyclists. It is now possible to supplement the knowledge of this remarkable tunnel with some information and photos related to the start of operation in the Fyllingsdalen cycle tunnel during 2023.

Základní informace o připravovaném dlouhém cyklotunelu v Bergenu byly uvedeny v TUNELU č. 2/2023 v rubrice Ze světa podzemních staveb pod názvem Otevírá se dlouhý tunel pro cyklisty. Nyní je možno doplnit vědomosti o tomto pozoruhodném tunelu o několik informací a fotografií souvisejících se zahájením provozu v cyklotunelu Fyllingsdalen v průběhu roku 2023 (obr. 1). Jak již bylo v minulém článku zmíněno, vedení města přijalo v rámci snahy omezit trvalý nárůst automobilové dopravy rozhodnutí investovat 300 milionů norských korun (28 milionů dolarů, tj. cca 670 milionů Kč) na cyklotunel, a to formou rozšíření podzemní únikové cesty paralelně situovaného stejnojmenného tunelu povrchové rychlodráhy.



Obr. 1 Návštěvníci v odpočívadle uprostřed cyklotunelu při jeho otevření  
Fig. 1 The tunnel opening – visitors at the rest area in the middle of the cycle tunnel



Obr. 2 Obdivovatelé cyklotunelu Fyllingsdalen  
Fig. 2 Fyllingsdalen cycle tunnel admirers



Obr. 3 Cyklistický provoz v novém tunelu  
Fig. 3 Cycling traffic in the new tunnel



Obr. 4 Součástí cyklostezky je tunel Kronstad s délkou 473 m  
Fig. 4 The 473m long Kronstad tunnel is also part of the cycle path

Tunel Fyllingsdalen je s délkou 2,9 km podstatnou částí nové 7,8 km dlouhé cyklostezky vedoucí z jihu do centra Bergenu. Téměř tříkilometrová stezka je v tunelu převážně v přímé, s mírnými oblouky u jižního i severního portálu. Vedle velkoryse dimenzované cyklostezky pro oba směry je mírně vyvýšený modrý chodník, vyrobený ze směsi obvyklé na běžeckých tratích. Pod klenbou tunelu jsou umístěna světla, která mají po délce tunelu různé duhové barvy (obr. 2, 3).

V severní části cyklostezky je ještě tunel Kronstad dlouhý 473 m (obr. 4), situovaný a vybudovaný v souvislosti s přestavbou železničního koridoru. Cyklista z městské oblasti Fyllingsdalen nyní projíždí oběma tunely na cestě do centra města. Nicméně zřejmě dlouhodobé zakonzervování cyklostezky v centru města bez propojení do

severní části města je kritizováno jak cyklisty, tak odborníky na udržitelnou automobilitu a klimatickými aktivisty. Je skutečností, že od severu dosud do centra žádná cyklistická stezka nevede, nicméně vedení města plánuje do roku 2030 jejich síť podstatně rozšířit.

Uvedená investice umožnila vybudovat mimořádně kvalitní stezku pro cyklisty a chodce, jejíž využití rychle vzrůstá a spolu s městskou rychlodráhou by měla zajistit preferenci oproti automobilové dopravě (obr. 5). V současnosti využívá denně stezku v tunelu 600 až 700 cyklistů a koloběžkářů, po chodníku se denně pohybuje cca poloviční počet chodců a běžců. U cyklistického provozu se očekává během času výrazný nárůst na více než 2000 cyklistů denně, což by mělo umožnit redukcii automobilové dopravy v Bergenu.

Zpracoval

prof. Ing. JIŘÍ BARTÁK, DrSc.

Podklad: Scoop-it ITA-AITES# October 2023,

David Zipper: Secrets of the World's Coolest Bike Tunnel



Obr. 5 Informativně-propagační panely v cyklotunelu Fyllingsdalen  
Fig. 5 Informative and promotional panels in the Fyllingsdalen cycle tunnel

## OMEZENÍ PROVOZU V GOTTHARDSKÝCH TUNELECH TRAFFIC RESTRICTIONS IN THE GOTTHARD TUNNELS

### Nehoda v Gotthardském báзовém tunelu

Gotthardský báзовý tunel, s délkou přes 57 kilometrů nejdelší železniční tunel na světě, je klíčovou součástí rozvoje švýcarské železniční sítě nazvané BAHN 2050. Tunelem denně projede asi 300 vlaků a loni se jím přepravilo 19 milionů tun zboží (tj. asi 60 procent železniční nákladní dopravy skrze Alpy).

Ve čtvrtek 10. srpna 2023 v 12:50 SEČ došlo v tunelu k nehodě nákladního vlaku tvořeného třiceti nákladními vozy a dvěma hnacími vozidly. Šestnáct nákladních vagonů vykolejilo u podzemní výhybny Faído, která se používá i pro přejezdy mezi oběma tunelovými troubami. Při nehodě nebyl nikdo zraněn, nicméně škody jsou značné – zničeno bylo takřka osm kilometrů železničního svršku (včetně samotné výhybky) a vážně poškozeno 20 000 betonových pražců. Několik vagonů je tak zničeno, že se musí demontovat v tunelu. Současně s odklizením trosk plánují Švýcarské státní dráhy (SBB) opravu poškozených železničních zařízení, která potrvá pravděpodobně do konce roku 2023. SBB zveřejnily tři snímky, švýcar-

ská média však přinesla i další záběry z nehody (například server Blick.ch).

Od 23. srpna tunelem opět projíždí nákladní vlaky, ale jen po jedné koleji, a tedy ve snížené kapacitě. Pro osobní dopravu bude pravděpodobně uzavřen po několik měsíců, neboť při jednokolejním provozu by v případě vzniklého problému nebylo možné dodržet evakuační trasy. Soupravy s cestujícími proto budou muset použít tzv. starý Gotthardský tunel (trasa Curych–Milán má však o 30 % menší kapacitu míst pro cestující, a navíc prodlouží spoj o 40 minut).

SBB uvedly, že by obnovovací práce měly pokračovat až do konce roku 2023. Celkovou situaci zhoršuje i to, že na dalším vlakovém spojení do Itálie přes Simplonský tunel jsou až do 10. září kvůli práci na italské železniční síti vlaky Eurocity nahrazeny autobusy mezi Domodossolou a Milánem.

### Problémy v Gotthardském silničním tunelu

V neděli 10. září byl v obou směrech uzavřen Gotthardský silniční tunel, který byl postaven v roce 1980. Federální silniční



úřad (FEDRO) oznámil, že krátce po 16:00 na vozovku zatím z neznámých příčin spadly poblíž severního portálu tunelu kusy betonu, naštěstí se nikomu nic nestalo. Prvotní kontrola odhalila 25 metrů dlouhou prasklinu ve stropě. Předpokládá se, že příčinou poškození je zvýšené zatížení ostění od pohybu horského masi-

vu. Tunel byl znovu otevřen v pátek 25. září a rychlostní limit byl z bezpečnostních důvodů snížen na 60 km/h namísto běžných 80 km/h.

doc. Dr. Ing. JAN PRUŠKA

## ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCES

### TUNELÁŘSKÉ ODPOLEDNE 1/2023 TUNNEL AFTERNOON 1/2023

The first Tunnel Afternoon was held on September 13, 2023, the topic was Design Preparation of Long Railway Tunnels. The introductory lecture was delivered by Prof. Ing. Matouš Hilar, Ph.D., (3G Consulting Engineers, s.r.o. and FSv CTU) on the topic Overview of the world's longest railway tunnels. This was followed by a lecture by RNDr. Tomáš Svoboda, Ph.D., (3G Consulting Engineers, s.r.o.) Experience from the construction of the Austrian Koralm and Semmering tunnels. The third lecture was entitled Preparation of the Erzgebirge Tunnel from the Client's Perspective, prepared by Ing. Petr Provazník and Ing. Pavel Hruška (Railway Administration, s.o.). It was continued by Ing. Roman Šabata (ILF Consulting Engineers, s.r.o.) with the topic Design Preparation of the Erzgebirge Tunnel. Mgr. Jiří Zmítka (3G Consulting Engineers, s.r.o.) delivered a lecture entitled Geological conditions and exploration of the Erzgebirge Tunnel. Next, attention was focused on the second major project – the Beroun tunnel. The session was opened by Ing. Marcela Domanická (Railway administration, s.o.) with a lecture on the preparation of the Beroun tunnel from the client's point of view. It continued with Ing. Michal Uhrin (SUDOP PRAHA a.s.), presented the Technical Solution for the Beroun Tunnel. Dr.-Ing. Zdeněk Žižka (METROPROJEKT Praha, a.s.) described the Mechanised Tunnelling and Karst Risks of the Beroun Tunnel. The last lecture on Risk Analysis and Safety of Beroun Tunnel Operation was divided into two parts, shared by Ing. Jan Rožek (AMBERG Engineering Brno, a.s.) and Ing. Miloslav Frankovský (DOPRAVOPROJEKT, a.s.).

V letošním roce se první Tunelářské odpoledne konalo až ve středu 13. září 2023, protože první polovina roku byla plně věnována přípravě konference PS 2023. Tématem byla **Projektová příprava dlouhých železničních tunelů**.

Úvodní přednášku přednesl prof. Ing. Matouš Hilar, Ph.D., (3G Consulting Engineers, s.r.o., a FSv ČVUT) na téma **Přehled nejdelších světových železničních tunelů**, nejprve hovořil o tunelech v provozu, z nichž nejdelší je Gotthardský bázový tunel s délkou 57 km, zprovozněný v roce 2016. Poté pokračoval popisem dlouhých tunelů ve výstavbě, kde svojí délkou 64 km vede Brennerský bázový. Třetí kategorií byly připravované dlouhé železniční tunely, zde je zatím nejdelší tunel pod průlivem Bohai délky 123 km, lze tam zařadit i připravované české tunely Krušnohorský (27–30 km) a Berounský (26 km).

Následovala přednáška RNDr. Tomáše Svobody, Ph.D., (3G Consulting Engineers, s.r.o.) **Zkušenosti z výstavby rakouských tunelů Koralm a Semmering**. Délka obou tunelů se pohybuje okolo 30 km, tudíž zkušenosti z jejich výstavby lze využít při přípravě obdobných projektů v ČR. Ražby obou tunelů probíhaly konvenčně (NRTM) i mechanizovaně (TBM).

Třetí přednáška nesla název **Příprava Krušnohorského tunelu z pohledu investora**, připravili ji Ing. Petr Provazník a Ing. Pavel Hruška (Správa železnic, s.o.). Tento projekt má za cíl zvýšení kapacity stávající sítě, zkrácení cestovních dob, podporu regionů, snížení dopadů dopravy na životní prostředí atd. V jeho rámci probíhá mezinárodní spolupráce mezi Německem a Českou republikou a je připravována mezistátní smlouva pro tento projekt. Společnost DB Netz zpracovala dvě varianty trasy a dokončila terénní geologické a environmentální průzkumy.

Potom se ujal slova Ing. Roman Šabata (ILF Consulting Engineers, s.r.o.), věnoval se **Projektové přípravě Krušnohorského tunelu**. Popsal návrhové parametry, projektované varianty (částecný a kompletní tunel), profil tunelu, propojky, uspořádání, varianty evakuačního a záchraného místa, bezpečnostní koncepcí a mnohé další skutečnosti.

Mgr. Jiří Zmítka (3G Consulting Engineers, s.r.o.) měl poslední přednášku k tomuto tématu s názvem **Geologické poměry a průzkum Krušnohorského tunelu**. Přestavil podélný geologický řez, rizikové oblasti ražby v rámci celé trasy, probíhající vrtné práce, projekt geologických prací a geofyzikální měření.

Po přestávce se již pozornost soustředila na druhý významný projekt – Berounský tunel. Blok zahájila Ing. Marcela Domanická (Správa železnic, s.o.) s přednáškou **Příprava Berounského tunelu z pohledu investora**. V přednášce byl představen dosavadní průběh a organizace přípravy a předpokládaná umístění jednotlivých zařízení stavenišť včetně odvozu rubaniny. Nakonec byl zmíněn aktuální stav a předpokládaný budoucí postup.

Pokračoval Ing. Michal Uhrin (SUDOP PRAHA a.s.), představil **Technické řešení Berounského tunelu**. Popsal připravovanou trasu, základní parametry, koncept při zahájení projektu, použití tunelovacích strojů, umístění zařízení stavenišť včetně šachet ve Slivenci a Tachlovicích, členění a způsob ražeb, podzemní rozplety, propojky atd.

Dr.-Ing. Zdeněk Žižka (METROPROJEKT Praha, a.s.) popsal **Mechanizované ražby a krasová rizika Berounského tunelu**, seznámil posluchače s volbou způsobu ražeb, vzorovým příčným řezem mechanizovaných ražeb, geotechnickými podmínkami s vápenci náchylnými ke krasovým jevům, požadavky na tunelovací stroje, recyklaci rubaniny, průzkumem a riziky krasových oblastí a strategií ražby v nich.

Poslední přednáška o **Rizikové analýze a bezpečnosti provozu Berounského tunelu** byla rozdělena na dvě části. Nejprve Ing. Jan Rožek (AMBERG Engineering Brno, a.s.) informoval o stavebně-technickém řešení, bezpečnostním konceptu tunelu, požárně-bezpečnostním řešením, projektu větrání a rizikové analýze provozu tunelu. Jako poslední vystoupil Ing. Miloslav Frankovský (DOPRAVOPROJEKT, a.s.), který podrobněji rozebral analýzu

rizik – kvantitativní hodnocení rizik, výsledky simulace požáru a následné evakuace pasažérů.

Poděkování patří všem přednášejícím i prof. Hilarovi, který koordinoval přípravu programu a celé Tunelářské odpoledne modeloval. Na místě se zúčastnilo přes 60 lidí. Tunelářské odpoledne

## 27. SVĚTOVÝ SILNIČNÍ KONGRES V PRAZE 27<sup>TH</sup> WORLD ROAD CONGRESS IN PRAGUE

From 2 to 6 October 2023, the 27<sup>th</sup> World Road Congress organised by the International Road Association PIARC took place at the Prague Congress Centre. In total, over 4000 delegates from more than 120 countries took part in this event, and 300 exhibitors presented themselves as part of the extensive exhibition. Manufacturers, suppliers of equipment and services, consultants, representatives of the state administration, schools and other organisations focused on road transport took advantage of the opportunity to present themselves at this professional forum. The congress also welcomed top representatives of major global professional, economic and financial entities. The prestige of this event was underlined by the presence of several ministers of the participating countries, including the Czech and Slovak Republics, who presented their visions of the present and future of roads and road transport. As part of the congress, more than 50 specialised seminars and workshops were held, which presented the latest trends and technologies in the field. The central topic of the contributions and exhibitors was the sustainability and safety of road construction and road transport, associated in particular with the use of secondary materials, CO<sub>2</sub> reduction, the digitisation process, the development of autonomous vehicles and electromobility. A part of the professional programme was also devoted to the issue of tunnels as an essential part of transport.

Ve dnech 2.–6. října 2023 se v Kongresovém centru Praha konal 27. ročník Světového silničního kongresu organizovaný mezinárodní silniční asociací PIARC. Celkem se této akci účastnilo přes 4000 delegátů z více než 120 zemí světa, v rámci rozsáhlé výstavy se představilo 300 vystavovatelů. Možnosti prezentace na tomto odborném fóru využili výrobci, dodavatelé zařízení a služeb, poradci, zástupci státní správy, škol a dalších organizací zaměřených do oblasti silniční dopravy. Kongres přivítal rovněž vrcholné představitelé významných světových profesních, ekonomických i finančních subjektů. Prestiž této akce byla podtržena i přítomností několika ministrů zúčastněných zemí, včetně České a Slovenské republiky, kteří představili své vize současnosti i budoucnosti silnic a silniční dopravy.

V rámci kongresu proběhlo více než 50 specializovaných seminářů a workshopů, které představily nejnovější trendy a technologie z oboru. Ústředním nosným motivem příspěvků i vystavovatelů byla udržitelnost a bezpečnost silničního stavitelství a silniční dopravy, spojená zejména s využitím druhotných materiálů, redukcí CO<sub>2</sub>, procesem digitalizace, rozvojem autonomních vozidel a elektromobilitou.

Část odborného programu byla věnována i problematice tunelů, jakožto neodmyslitelné součásti dopravy. V této oblasti byly prezentovány výsledky činnosti technické komise TC4.4 – Provoz a bezpečnost silničních tunelů v období 2020–2023. Nejvíce rezonovala témata související se zlepšením jejich odolnosti a životnosti, s vlivem nových technologií pohonu na jejich

bylo možné již tradičně sledovat on-line, celkem se připojilo více jak 70 dalších posluchačů. Téměř všechny prezentace lze nalézt na [www.ita-aites.cz](http://www.ita-aites.cz).

*Ing. MARKÉTA PRUŠKOVÁ, Ph.D.,  
CzTA ITA-AITES, z. s.*

provoz a bezpečnost a s digitalizací jejich návrhu a také s postupy při údržbě a provozu silně dopravně zatížených městských tunelů. Účastníci byli rovněž informováni o softwaru DG-QRAM zaměřeném na vyhodnocení rizika transportu nebezpečného nákladu v silničních tunelech, vyvíjeném ve spolupráci PIARC a Organizace pro ekonomickou spolupráci a rozvoj OECD.

V rámci sekce č. 5 Tunely byl pod vedením Mgr. Františka Rainera z ŘSD ČR připraven blok přednášek týkající se provozu a údržby tunelů. První přednáška Ing. Aleše Lebla z firmy ConSalt se týkala problematiky agresivity prostředí v silničních a dálničních tunelech s ohledem na degradaci stavebních konstrukcí a technologického vybavení tunelu, vlivu ovzduší v tunelech na zdraví účastníků provozu i údržby tunelů. Tematicky pak navázala přednáška Ing. Libora Maříka z firmy SAGASTA, která se týkala problematiky vad tunelového ostění, jejich dokumentace v rámci prohlídek, vyhodnocování pasportizace ostění a možnosti zjišťování příčin vad a poruch. Bylo poukázáno na důležitost sběru a archivace dat v životním cyklu tunelu potřebných pro posouzení závažnosti vady a návrhu způsobu sanace. Tato problematika je v současné době řešena v rámci projektu TAČR CK02000175 Zvýšení spolehlivosti a životnosti ostění tunelů využitím informačních modelů a nových přístupů, jehož řešitelem je Fakulta stavební ČVUT v Praze. Další přednášku si pro účastníky kongresu připravil Ing. Rudolf Procházka z firmy POWERDYNAX a Dipl.-Ing. Franz Graf z firmy Joaneum Research z Rakouska. Jejich prezentace se týkala identifikace mimořádných událostí pomocí Akustického detekčního systému, který zvyšuje výrazně bezpečnost tunelu pomocí strojové AI analýzy zvuku v celé tunelové troubě. Je schopen identifikovat nebezpečné situace dle jejich zvukové stopy, lokalizovat místo incidentu a také kategorizovat jeho druh. Unikátní vlastností je krátký reakční čas v řádu zlomku sekundy, extrémně nízký počet falešných poplachů a necitlivost na změnu okolního prostředí. V současné době je nasazen na ca 130 km tunelů v Evropě včetně ČR. Tématem posledního příspěvku tunelářského bloku byly zkušenosti s provozováním slovenských dálničních tunelů, o které se s posluchači z pohledu bezpečnostního technika pro tunele podělil zástupce Národnej diaľničnej spoločnosti Ing. Jaroslav Štrba.

K podpoře zájmu mladých lidí o technické vzdělávání a profesní zaměření na oblast dopravy byly v rámci kongresu rovněž uspořádány aktivity pro studenty středních a vysokých škol, kteří se účastnili kongresového jednání, workshopů, setkali se s vystavovateli, měli možnost vyzkoušet si nové technologie a diskutovat i se zástupci českých a slovenských technických vysokých škol. Ti využili tohoto světového odborného fóra k propagaci svých studijních programů formou informačních stánků.

*doc. RNDr. EVA HRUBEŠOVÁ, Ph.D.,  
VŠB-TU Ostrava,  
Ing. LIBOR MAŘÍK, SAGASTA, s.r.o.*



## 28. NÁRODNÍ KONFERENCE O BEZVÝKOPOVÝCH TECHNOLOGIÍCH NO-DIG 28<sup>TH</sup> NATIONAL CONFERENCE ON TRENCHLESS TECHNOLOGIES NO-DIG



Obr. 1 Přednáška Ing. Michala Přenosila o realizaci vrtů pod provozovanou železniční tratí v Praze Na Balabence

Fig. 1 Ing. Michal Přenosil's lecture on the performance of boreholes under the operating rail track in Prague Balabenka

On September 19 and 20, 2023, the 28<sup>th</sup> NO-DIG Tábor 2023 annual national conference on trenchless technologies took place in Tábor in South Bohemia. More than 20 papers were presented during the conference. The participants could also discuss them at a social party, where a very interesting excursion to the Tábor underground was also discussed. A total of 193 experts from the Czech Republic, Germany, Finland and Poland participated, representing a total of 101 companies and institutions.

Ve dnech 19. a 20. září 2023 se v Táboře v jižních Čechách konal 28. ročník národní konference o bezvýkopových technologiích NO-DIG Tábor 2023. Konference byla zahájena předsedou Společnosti pro bezvýkopové technologie p. Loveckým, společně se starostou města Tábor p. Pavlíkem.

Úvodní příspěvek přednesl p. Tomanec z Vodárenské společnosti Tábořsko a propojil v něm historii tábořského podzemí s činností Vodárenské společnosti. V dalších zdařilých přednáškách rezonovalo téma spojení bezvýkopových technologií s tématem udržitelnosti a uhlíkové stopy, které se týkala mj. přednáška prof. Kočího na téma sledování uhlíkové stopy a jejího důsledku pro stavebnictví.

## POŽÁRNÍ BEZPEČNOST TUNELŮ 2023 TUNNEL FIRE SAFETY 2023

On 21/09/2023 and 22/09/2023, the 11<sup>th</sup> edition of the international conference Tunnel Fire Safety was held under the auspices of the Road and Motorway Directorate of the Czech Republic and the National Motorway Society, a. s. It was organised by the Ostrava-based company K.B.K. fire, s.r.o. The main topics of all lectures were safety equipment, fire equipment and events in tunnels, especially road tunnels.



Obr. 2 Výstavba kabelových dutin metodou horizontálního přiklepového vrtání v Praze na Balabence

Fig. 2 Construction of cable ducts using the horizontal percussive drilling method in Prague Balabenka

Zástupce Sdružení vodovodů a kanalizací ČR p. Trachtulec pak toto téma prezentoval na příkladu centrálního vytápění měst a obcí, kde například v Německu chtějí do roku 2045 připojit na dálkové teplo 40 % obyvatel, tedy tolik, kolik je jich připojeno v současné době v ČR.

Mezi další zajímavé přednášky lze zařadit příspěvek p. Moučky na téma archeologických rizik při bezvýkopových technologiích, příspěvek p. Přenosila na téma horizontálního přiklepového vrtání (obr. 1 a 2), přednášku p. Sodomky na téma protlaků v žel. stanici Pardubice anebo velmi zajímavou přednášku p. Chládky týkající se činnosti pyrotechnika na stavbě.

V rámci celé konference bylo předneseno více než 20 příspěvků, o kterých mohli její účastníci diskutovat i na společenském večírku, kde se probírala i velmi zajímavá exkurze do tábořského podzemí.

Konference se zúčastnilo celkem 193 odborníků z ČR, Německa, Finska a Polska, kteří zastupovali celkem 101 firem a institucí. Své služby a výrobky na výstavních stáncích představilo celkem 23 firem.

Ing. JAN FRANTL,  
místopředseda RR

Ve dnech 21. 09. 2023 a 22. 09. 2023 se konal tradiční, již 11. ročník mezinárodní konference Požární bezpečnost tunelů pod záštitou ŘSD ČR a NDS, a. s. Pořadatelem je ostravská firma K.B.K. fire, s. r. o. Místem konání byl i tentokrát areál PROSPER GOLF RESORT ČELADNÁ, který se již pomalu stává tradicí. Jak již z názvu konference vyplývá, hlavním tématem všech přednášek

jsou bezpečnostní vybavení, technologická zařízení a události v tunelech, především silničních.

Toto téma je v odborných tunelářských kruzích často diskutováno. Názory nejsou jednotné, zejména v otázce, zda je bezpečnostní vybavení českých a slovenských tunelů optimální, nebo naopak předimenzované a vede k nepřiměřeným investičním a provozním nákladům na zařízení, která ani nejsou využívána, resp. jejich efektivita z hlediska bezpečnosti je spíše sporná. Každoroční diskuze se vede zejména kolem liniových hlásičů požárů v tunelech, které jsou jako téměř jediná přípustná možnost z hlediska požárních předpisů možné. Přitom v dřívější většině mimořádných událostí v tunelech je požár mnohem dříve detekován jinými zařízeními, např. videodetekcí, kouřovými hlásiči apod. Problém je pouze v certifikaci a zařazení těchto „jiných“ technologických prvků a zařízení do kategorie požárně bezpečnostních zařízení. Což se nedaří již dlouhá léta a světlo na konci tunelu není v této otázce stále viditelné. Dalším závažným tématem byl rovněž často diskutovaný způsob řízení provozu, správy a údržby a také jednotlivé dispečinky, které nejsou v ČR ani SR centrálně řízené a jednotné. Prakticky téměř co tunel, to originál. K tomu je nutné zmínit ještě záměr ŘSD ČR, budovat vícero tunelů na dálnicích D11 a D35 systémem PPP, což může způsobit řízení, správy a údržby ještě více diverzifikovat. Další specifickou entitou jsou městské tunely v Praze, které předpisům a dikci ŘSD ČR nemusí úplně podléhat a jsou tak trošku státem ve státě. Tomuto tématu a budoucí struk-

tuře správy a údržby tunelů se věnoval ve své přednášce zejména Mgr. František Rainer z odboru 12400 v souvislosti s přechodem ŘSD ČR na státní podnik od roku 2024.

Na konferenci jsou každoročně obsaženy přednášky o zkušenostech HZS ČR i SR ze skutečných reálných zásahů v tunelech, což jsou informace, ke kterým se člověk i z naší branže běžně nedostane.

Konference se pravidelně účastní přes 200 lidí z České i Slovenské republiky, má vždy bohatý kulturní a doprovodný program. Letošním překvapením a obohacením bylo vystoupení Lvíčat SDH Klimkovice. Nesmírně milá ukáзка zásahu hasičů při různých mimořádných událostech předváděná dětmi ve věku od tří do šesti let, samozřejmě v plné hasičské zbroji a výbavě. Kdo dosud neviděl, tomu vřele doporučuji najít si nějaké jejich vystoupení na videu na kanále Youtube. A jelikož se konference koná v golfovém prostředí, měli účastníci možnost zdarma (!) absolvovat buďto kurz „Golfové akademie“, nebo po dohodě i nějakou „túru po jamkách“.

Sborník přednášek v digitální podobě na USB flash disku je pouze pro účastníky, bohužel není zveřejněn na webu pořadatele. Snad se to do příště změní, a i ostatní, na konferenci nezúčastnění, si budou moci zajímavé přednášky stáhnout a přečíst. V případě zájmu o letošní přednášky se zájemci mohou obrátit přímo na mne nebo organizátora – viz též [www.kbfire.cz](http://www.kbfire.cz).

*Ing. VLASTIMIL HORÁK  
AMBERG Engineering Brno, a.s.*

## AKTUALITY Z PODZEMNÍCH STAVEB V ČESKÉ A SLOVENSKÉ REPUBLICCE CURRENT NEWS FROM THE CZECH AND SLOVAK UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

### ČESKÁ REPUBLIKA

#### METRO D – NOVÁ LINKA PRAŽSKÉHO METRA

Vlastní realizace trasy metra I.D v úseku Pankrác–Olbrachtova trvá od data předání staveniště mezi objednatelem a zhotovitelem z března 2022 k dnešnímu datu psaní této aktuality v září 2023 již 18 měsíců. Zde se hodí připomenout, že se jedná o stavební úsek délky 1296 m, jehož součástí jsou dvě ražené stanice Pankrác a Olbrachtova, ražený mezistaniční úsek a také ražený propojovací tunel k již provozované trase metra C.

### THE CZECH REPUBLIC

#### METRO D – NEW LINE OF PRAGUE METRO

The actual construction of the ID metro line in the Pankrác–Olbrachtova section has taken 18 months from the date of the handover of the construction site between the client and the contractor in March 2022 to the date of writing this news in September 2023. It is worth mentioning here that this is a 1296m long construction section, which includes two mined stations Pankrác and Olbrachtova, a mined interstation section and also a mined linking tunnel to the already operating metro line C.

In a year and a half of diligent and hard work, many sections of this project have already been successfully advanced. The Pankrác station area is slowly reaching its optimum level of development both underground and on the surface. In the underground, tunnels for the turn-back tracks are being driven behind the station itself, and the excavation of a total of approximately 210m of the tunnels has been finished at all four active workplaces (Figure 1). From the other side of the station, the left-hand top heading of the Pankrác station is being excavated, and about 85m of the excavation is finished. On the more visible side, i.e. on the surface, the existing bridge in 5. května street has got into the zone of possible affecting by the excavation and for this reason daily measurements were started here as part of the safety monitoring; a little farther on, in the area of OC Arkády shopping centre, the relocation of the hot water pipeline was completed and put into operation.



*Obr. 1 Pohled na ražby obrátových kolejí stanice Pankrác  
Fig. 1 A view of excavation for turn-back tracks of Pankrác station*



Za rok a půl pilné a usilovné práce se podařilo úspěšně postoupit již na mnoha úsecích tohoto projektu. Oblast stanice Pankrác se jak v podzemí, tak i na povrchu pomalu dostává do možného optima své rozpracovanosti. V podzemí se za vlastní stanicí na obě stany razí obrátové koleje a v celkovém součtu všech čtyř aktivních pracovišť je z nich vyraženo cca 210 m (obr. 1). Z druhé strany stanice se pak razí levá kalota stanice Pankrác, z které je vyraženo cca 85 m. Na té viditelnější straně, tedy na povrchu, se stávající most v ulici 5. května dostal do zóny možného ovlivnění ražbou a z toho důvodu zde bylo v rámci provádění bezpečnostního monitoringu zahájeno denní měření, o kousek dál, v oblasti OC Arkády, byla potom dokončena a zprovozněna přeložka horkovodu.

V mezistaničním traťovém úseku byly již kompletně dokončeny ražby obou jednokolejných tunelů včetně rozpletu do spojky C–D. Čelba spojky se v době psaní příspěvku nacházela na kótě 257 m z celkových 468 m. Práce jsou taktéž prováděny v části dvoukolejného tunelu v blízkosti rozpletu do odstavného tunelu. Ve strojovně vzduchotechniky již byly zahájeny práce na zhotovení hydroizolačního souvrství a definitivního ostění.

Dvoulodní stanice Olbrachtova se v současné době ve svých ražbách rozvíjí základně dvěma směry, a to po vyhloubení přístupové šachty ze svého středu, kde byly zahájeny ražby levého a pravého staničního tunelu, a ze severní strany z jednokolejných tunelů, kde bylo v součtu obou těchto staničních tunelů vyraženo již cca 150 m (obr. 2).

O dalším připravovaném úseku, Olbrachtova (mimo) – Nové dvory vč. traťových tunelů z Písnice trasy Metra D, máme nové zprávy, a to dvojího druhu. Ty první, pozitivní říkají, že výběrové řízení na zhotovitele tohoto úseku bylo zadavatelem ukončeno. K těm druhým, negativním patří skutečnost, že k rozhodnutí zadavatele byly některými uchazeči podány námítky, které budou pravděpodobně uplatněny i u ÚOHS. Souběžně vedené výběrové řízení na zhotovitele monitoringu a pasportu pro předmětný úsek má již tuto anabázi včetně posouzení u ÚOHS za sebou a příslušný zhotovitel tak již mohl být vybrán.

Celkově tedy s přihlédnutím k výše uvedeným informacím můžeme konstatovat, že se k dnešku projekt Metra D nachází ve dvou polohách, té první, realizační se daří a té druhé, soutěžní tak úplně nikoliv. Věřme tedy, že další potřebná rozhodnutí se budou dařit uzavírat včas a že déle plynoucí čas se tak nestane reálnou hrozbou našeho projektu. Takže jako již tradičně a na závěr – ať se daří, zdař bůh!

*Ing. BORIS ŠEBESTA, borissebesta61@gmail.com,  
Ing. MICHAL ŠERÁK, serak@idspraha.cz*

## TUNEL POHŮRKA – DÁLNIČE D3 ÚSEK „ÚSILNÉ – HODĚJOVICE“

Tunel Pohůrka je 999,5 m dlouhý dálniční tunel na dálnici D3, na obchvatu Českých Budějovic v úseku „Úsilné–Hodějovice“.



*Obr. 2 Pohled na ražby staničního tunelu stanice Olbrachtova  
Fig. 2 A view of excavation of Olbrachtova station tunnel*

In the interstation running section, the excavation of both single-track tunnels has been completed, including the bifurcation to the C–D linking tunnel. The excavation face of the C–D link is currently found at the distance of 257m from the total of 468m. Work is also being carried out in the section of the double-track tunnel near the bifurcation to the stabling tunnel. Work has already started on the waterproofing layers and the final lining in the ventilation plant.

The excavation of the Olbrachtova double-vault station is currently developing in two basic directions, namely after the sinking of the access shaft from the station middle, where the excavation of the left-hand and right-hand station tunnels has started, and from the northern side from the single-track tunnels, where in the total of both station tunnels, about 150m have already been excavated (Figure 2).

About another section under preparation, Olbrachtova (excepting) – Nové Dvory, including the running tunnels from Písnice station on the Metro D line, we have new news of two kinds. The first, positive ones say that the tender for the contractor of this section has been ended by the contracting authority. The second, negative ones include the fact that some bidders have filed objections to the contracting authority's decision, which will probably be filed with the Office for the Protection of Competition. The concurrent tender proceedings for the contractor for the monitoring and passport for the section in question have already passed through this process, including the assessment by the Office for the Protection of Competition, and the respective contractor could have already been selected.

Overall, taking into account the above information, we can conclude that the Metro D project is in two positions as of today, the first one, the construction one, is successful, and the second one, the tendering one, is not so successful. Let's hope that the other necessary decisions will be concluded in time and that the longer passage of time will not become a real threat to our project. So, as usual and in conclusion – God speed you!

*Ing. BORIS ŠEBESTA, borissebesta61@gmail.com,  
Ing. MICHAL ŠERÁK, serak@idspraha.cz*

Byl velmi diskutovaný již ve fázi projektové přípravy a jeho dokumentace doznala v čase značných změn, které byly provedeny dávno předtím, než vůbec byl zahájen proces výběru zhotovitele stavby.

Výsledná zadávací dokumentace předpokládala, že tunel bude vyhotoven s využitím nosných bočních podzemních stěn a středové nosné podzemní stěny, na které bude napojena horní stropní deska, pod jejíž ochranou se tunel vyrazí a dobetonuje se jeho spodní železobetonová deska. Obdobný princip výstavby byl prováděn na některých úsecích městského tunelového komplexu Blanka v Praze.

Bohužel se zde, kvůli situování tunelu do prakticky rovinného prostředí, významné přítomnosti podzemních vod (přes tunel dokonce přechází potok a jedna ze stěn tunelu tvoří jakousi retenční bariéru v případě velkých vod tak, aby ochránila část Českých Budějovic před povodněmi) a složitým inženýrsko-geologickým poměrům, při začátku realizace po odzkoušení lamel podzemních stěn ukázalo, že toto řešení není proveditelné. Zadávací dokumentace, za kterou je odpovědný zadavatel stavby, se tedy opět musela významně přepracovat a na základě nové zadávací dokumentace byla dopracována i nová realizační dokumentace stavby. Tento proces vyvolal poměrně dlouhé zdržení výstavby (přes dva roky) a má tak významný dopad jak na čas samotné výstavby a otevření dotčeného úseku, tak také na původně stanovené náklady stavby, protože, jak je obecně známo, po pandemii covid-19 a vlivem války na Ukrajině ceny stavebních materiálů skokově narostly. I generální ředitel Ředitelství silnic a dálnic (ŘSD) označil tunel za aktuálně nejnáročnější stavbu na české dálniční síti.

Nové řešení spočívá v tom, že původní podzemní stěny, které zároveň tvořily finální železobetonovou konstrukci tunelu, byly nahrazeny pažením stavební jámy za pomoci štetovnic a v nich je prováděna železobetonová konstrukce tunelu, která je kompletně izolována proti účinkům podzemních vod. Zároveň i hloubení stavební jámy je realizováno z povrchu, a nikoliv pod ochranou stropní desky tak, jak bylo uvažováno v případě použití podzemních stěn. V současné době je stavba ve velké fázi rozpracovanosti, spodní desky jsou prakticky hotové, dokončují se již poměrně malé úseky bočních a středových stěn a provádí se betonáž stropních desek. Výstavba probíhá pod velkým časovým tlakem vyvíjeným na zhotovitele stavby a jeho poddodavatelů, kteří se na stavbě podílí, a to kvůli nově stanovenému termínu uvedení stavby do provozu. Bohužel celý proces výstavby je velice často komplikován složitými procesy kontrol i schvalováním použitých materiálů. Nepomáhají ani některé ze zúčastněných stran, které mnohdy svojí technickou neznalostí a trváním na nepochopitelných podmínkách výstavbu brzdí, dokonce ji i několikrát přerušily. Jakmile bude dokončena hrubá stavba tunelu, začne se pracovat na technologickém vybavení a jeho zapojení do provozně-technologického objektu, který je situován na severním portálu tunelu Pohůrka.

*Ing. PAVEL RŮŽIČKA, Ph.D., HOCHTIEF CZ, a. s.*

## SLOVENSKÁ REPUBLIKA TUNELY NA DIALNIČNEJ SIETI

### Tunely Bikoš a Okruhliak

25. septembra 2023 bol slávnostne uvedený do prevádzky úsek rýchlostnej cesty R4 Severný obchvat Prešova, I. etapa dlhý

## POHŮRKA TUNNEL – D3 MOTORWAY SECTION „ÚSILNÉ – HODĚJOVICE“

The Pohůrka tunnel is a 999.5m long motorway tunnel on the D3 motorway, on the bypass of České Budějovice in the “Úsilné–Hodějovice” section. It was highly debated already in the design preparation phase and its documentation has undergone significant changes over time. They were made long before the process of selecting a construction contractor was even started. The final tender documentation expected that the tunnel would be constructed using load-bearing diaphragm side walls and a central load-bearing diaphragm wall, to which the upper floor slab would be connected, under the protection of which the tunnel would be driven and its lower reinforced concrete slab would be completed. A similar construction principle was applied in some sections of the Blanka urban tunnel complex in Prague.

Unfortunately, due to the tunnel's location in a virtually flat environment, the significant presence of groundwater (a stream even runs across the tunnel and one of the tunnel walls forms a kind of retention barrier in case of high water to protect part of České Budějovice from floods) and the complex engineering-geological conditions, it turned out that this solution was not feasible at the beginning of the construction, after testing the diaphragm wall lamellae. Therefore, the tender documentation, for which the construction contractor is responsible, had to be significantly revised again. The new construction documentation was completed on the basis of the new tender documentation. This process has caused a relatively long delay in construction work (over two years) and has thus had a significant impact on both the construction time and the opening of the section concerned and on the originally specified construction costs because, as is well known, the prices of construction materials have risen sharply following the covid-19 pandemic and the impact of the war in Ukraine. Even the CEO of the Road and Motorway Directorate (ŘSD) described the tunnel as the most challenging construction on the Czech motorway network at the moment.

The new solution consists in the fact that the original diaphragm walls, which also formed the final reinforced concrete structure of the tunnel, have been replaced by the sheet piling of the construction pit and the reinforced concrete structure of the tunnel, which is completely insulated against the effects of ground water, is carried out under their protection. At the same time, the excavation of the construction pit is also carried out from the surface and not under the protection of the floor slab as was planned in the case of the use of diaphragm walls. At present, the construction is in a very advanced stage, the bottom slabs are practically finished, relatively small sections of the side and central walls are being completed and the floor slabs are being concreted. The construction is under great time pressure on the construction contractor and its subcontractors participating in the construction due to the newly set commissioning date. Unfortunately, the whole construction process is very often complicated by complex inspection processes and approvals of the materials used. As soon as the rough structure of the tunnel is completed, work will begin on the mechanical and electrical equipment and its integration into the operation and services building located at the northern portal of the Pohůrka tunnel.

*Ing. PAVEL RŮŽIČKA, Ph.D.,  
HOCHTIEF CZ, a. s.*





Obr. 3 Mimoúrovňová križovatka pred severným portálom tunela Bikoš  
Fig. 3 Grade separated intersection before the northern portal of the Bikoš tunnel

4,3 km. Jeho súčasťou je aj tunel Bikoš dĺžky 1,16 km (obr. 3). Stavebnú časť tunela realizovala spoločnosť TuCon a.s. Žilina ako člen Združenia spoločností Váhostav-SK, a.s. a TuCon, a.s., ktoré je zhotoviteľom stavby. Tunel sa razil od júna 2020 a oficiálne ho prerazili v máji 2021.

Po otvorení prvej etapy sa konalo aj slávnostné poklepanie základného kameňa druhej etapy obchvatu, ktorá bude mať dĺžku 10,2 km a jej súčasťou bude tunel Okruhliak dĺžky 1,8 kilometra. Tunel Okruhliak dotvorí po dokončení spolu s tunelom Bikoš a s tunelom Prešov na diaľnici D1 trojicu prešovských tunelov budovaných v rámci systému obchvatov mesta Prešov.

### Tunel Čebrať

Súčasťou úseku diaľnice D1 Hubová–Ivachnová tvoriaceho obchvat mesta Ružomberok je aj tunel Čebrať s dĺžkou 3,6 km.



Obr. 4 Betonáž núdzového zálivu NZ2 v tuneli Čebrať  
Fig. 4 Concreting of emergency lay-by NZ2 in the Čebrať tunnel

## SLOVAK REPUBLIC

### TUNNELS ON MOTORWAY NETWORK

#### Bikoš and Okruhliak tunnels

On September 25, 2023, the 4.3km long section of the R4 Northern Bypass of the town of Prešov was put into operation. It also includes the 1.16km long Bikoš tunnel (Fig. 3). The construction part of the tunnel was carried out by TuCon a.s. Žilina as a member of the consortium of Váhostav-SK, a.s. and TuCon, a.s., which is the contractor for the construction. The tunnel has been excavated since June 2020 and was officially broken through in May 2021.

After the opening of the first stage, there was also a ceremonial tapping the foundation stone of the second stage of the bypass, which will be 10.2km long and will include the 1.8km long Okruhliak tunnel. After completion, the Okruhliak tunnel, together with the Bikoš tunnel and the Prešov tunnel on the D1 motorway, will complete the trio of Prešov tunnels built as part of the Prešov bypass system.

#### Čebrať tunnel

Part of the Hubová–Ivachnová section of the D1 motorway forming the bypass of the town of Ružomberok is also the Čebrať tunnel with a length of 3.6km. The contractor for the construction is the consortium of OHLA ŽS, a.s. and Váhostav-SK, a.s.

In October 2023, work on concreting the final concrete structures of both tunnel tubes is nearing completion (Fig. 4). In the southern tunnel tube, 292 blocks of the upper vault of the mined and cut-and-cover tunnels are already completed, in the northern tunnel tube 251 blocks of the upper vault are finished. In total, 543 blocks of the upper vault are completed, which represents 92% of the length of the tunnel. In six cross passages, the secondary lining is fully completed, in the others the foundation structures are

Zhotovitelem stavby je združení společností OHLA ŽS, a.s., a Váhostav-SK, a.s.

V októbri 2023 sa ku koncu blížia práce na betonáži definičných betónových konštrukcií oboch tunelových rúr (obr. 4). V južnej tunelovej rúre je už hotových 292 blokov hornej klenby razeného a hĺbených tunelov, v severnej tunelovej rúre je hotových 251 blokov hornej klenby. Spolu je teda hotových 543 blokov hornej klenby, čo predstavuje 92 % dĺžky tunela. V šiestich priečnych prepojeniach je úplne dokončené sekundárne ostění, v ostatných sú hotové základové konštrukcie. Na východnom portáli (obr. 5) sa intenzívne pracuje na výstavbe budovy technologickej centrály. V jej predpolí sa pripravujú šachty pre požiarneho vodovodu a káblové šachty.

Očakáva sa, že diaľničný úsek Hubová–Ivachnová s tunelom Čebrať bude dokončený a odovzdaný verejnosti na používanie v roku 2025.

Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ, DOPRAVOPROJEKT, a.s.,  
Ing. IVAN MICHALE, Váhostav-Sk, a.s.



Obr. 5 Hĺbené tunely na východnom portáli tunela Čebrať  
Fig. 5 Cut-and-cover tunnels at the eastern portal of the Čebrať tunnel

finished. On the eastern portal (Fig. 5), intense work is underway on the construction of the technical services building. In the front zone of the building, manholes for fire water supply line and cable shafts are being prepared.

It is expected that the Hubová–Ivachnová motorway section with the Čebrať tunnel will be completed and handed over to the public for use in 2025.

Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ, DOPRAVOPROJEKT, a.s.,  
Ing. IVAN MICHALE, Váhostav-Sk, a.s.

## Z HISTORIE PODZEMNÍCH STAVEB FROM THE HISTORY OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

### POHLEDNICE S TUNELY – OPĚT NA SKOK ZA VELKOU LOUŽÍ PICTURE POSTCARDS WITH TUNNELS – AGAIN BRIEFLY OVER THE OCEAN

Picture postcards with tunnels across the Atlantic are presented for several times in the series. And it is certainly no coincidence that these are tunnels that can be found in the largest states in the Americas – the USA, Canada and Brazil. In terms of function, the tunnels presented here are mainly for motor vehicles, i.e. road or urban tunnels. One is for a railroad and is located on a very interesting track, and the last one (but first in the text) depicts an almost educationally remarkable node of urban rail tunnels in the largest urban conurbation in the USA.

Již po několikáté jsou v seriálu prezentovány pohlednice s tunely za Atlantikem. A jistě není náhodou, že jde o tunely, které lze nalézt v největších státech obou Amerik – v USA, Kanadě a Brazílii. Co do funkce jsou zde prezentovány převážně tunely pro motorová vozidla, tj. silniční, resp. městské. Jeden je železniční a nachází se na velice zajímavé trati a poslední (v textu však první) položka zobrazuje až edukačním způsobem pozoruhodný uzel tunelů městské dráhy v největší městské aglomeraci USA.

#### Křižovatka tunelů podzemní dráhy v New Yorku

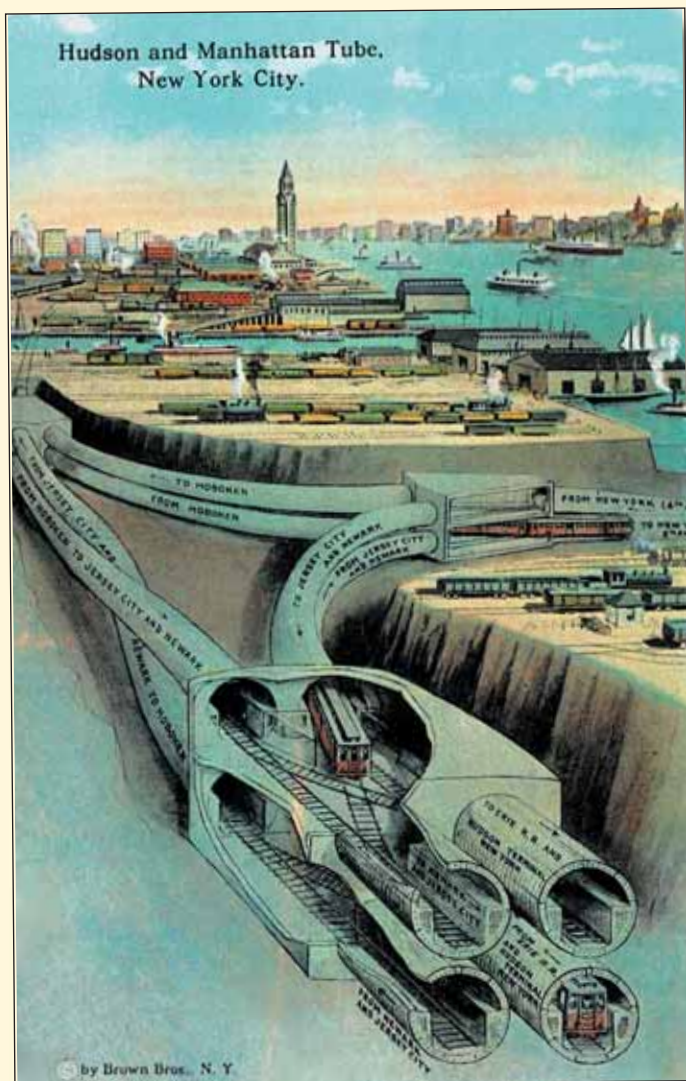
Součástí dopravní struktury sídelní aglomerace New York je, vedle velké řady dalších objektů, také dvojice tunelů pojmenovaných Uptown Hudson Tubes. Převádějí vlaky dopravního systému

PATH (Port Authority Trans-Hudson) od Manhattanu v N. Y. City na východě do Jersey City v New Jersey na západě, přes zásadní překážku, kterou představuje řeka Hudson.

Historie podzemní dráhy v největším městě USA je inženýrsky a podnikatelsky spletitá. Překonání Hudsonu bylo na pořadu dne již od 70. let 19. stol. Zvažovala se varianta mostů i tunelů. Rozhodly peníze, a proto zvítězily tunely, které oproti mostům potřebovaly jen třetinový zábor pozemků. Pokusy o realizaci, zahájené v roce 1874, ale narazily na vážné technické, finanční a právní překážky. Ražení s přetlakem vzduchu (ale bez štítu) bylo nakonec po průtrži do tunelu v roce 1880 a záhubě dvou desítek pracovníků zastaveno. Úspěšné překonání řeky podzemní dráhou se pak váže až k počátku 20. stol. Práce byly obnoveny 1904, proráženo bylo 1906 a uvedení do provozu přišlo na řadu 27. 11. 1910. Oba tunely jsou jednokolejné, standardního rozchodu, Ø 5,6 až 5,9 m, délka se udává 4 442 m.

V Jersey City vystupují tunely na západním břehu řeky, přibližně na úrovni 15. ulice, a ústí do odvážně koncipované podzemní mimoúrovňové křižovatky, umožňující vést vlakové soupravy z N. Y. na východě k terminálu Hoboken na severu nebo na jih k terminálu Erie (nyní stanice Newport) – obr. 1. Ve svízelných geologických poměrech pod řekou byly při stavbě nasazené pneumatické štíty s tubingovým ostěním. Výstavba příbřežních





Obr. 1 Hudsoňské a Manhattanské tunelové trouby. New York City. Představa malíře. © by Brown Bros., N.Y. The American Art Publishing Co. N.Y. City. 1909 [sbírka autorů].

Po překonání řeky Hudson (vpravo) vstupují Uptown Hudson Tubes (z N. Y. a zpět) do východního kesonu č. 1 (z a do Hobokenu, Jersey City a Newarku). Tunely v kesonu č. 2 (vlevo, v pozadí) projíždějí vlaky z a do Hobokenu, Jersey City a Newarku. Jižní keson č. 3 realizuje tunely z a do N. Y., Newarku, Jersey City a Erie.

Fig. 1 Hudson and Manhattan tunnel tubes. New York City. A painter's idea. © by Brown Bros., N.Y. The American Art Publishing Co. N.Y. City. 1909 [authors' collection].

After crossing the Hudson River (right), the Uptown Hudson Tubes (to and from N.Y.) enter East Caisson No. 1 (to and from Hoboken, Jersey City and Newark). Tunnels in Caisson No. 2 (left, background) carry trains to and from Hoboken, Jersey City and Newark. South Caisson No. 3 carries tunnels to and from N.Y., Newark, Jersey City and Erie.

rampových úseků probíhala konvenčními postupy s rozpojováním horniny trhavinou a všechny tři konce rozpletu pak byly vybudované jako dvoupodlažní ŽB kesony.

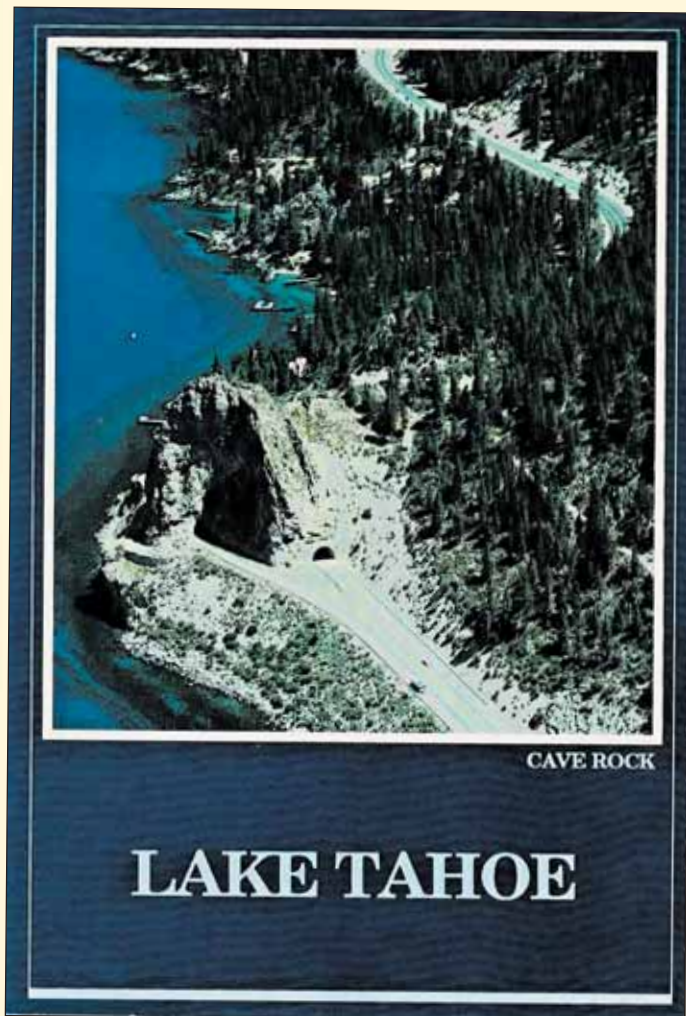
V současnosti se uvádí NY Subway jako 4. nejvytíženější městská dráha na světě, s celkem 469 stanicemi a cca 5 a 1/4 mil. cestujících denně [1]. Hudsoňské tunely byly v roce 1978 prohlášené za Národní kulturní památku inženýrského stavitelství [2].

### Tunel Cave Rock u jezera Tahoe v Nevadě

Asi 2 mil. let staré ledovcové jezero Tahoe se rozkládá v Sierra Nevadě, na hranici Kalifornie a Nevady. Pro oba státy je to především prvotřídní celoroční turistická atrakce, je domovem všemožných

sportů a na nevadské straně také kasin. Starou jednopruhovou a dopravně obtížnou přístupovou trasu zvanou Lincoln Highway nahradila ve 20. letech 20. stol. US Route 50. Ta na východním břehu, 24 m nad hladinou jezera, překonává dvěma tunelovými troubami výrazný vulkanický útvar a současně posvátné místo indiánského kmene Washoe (obr. 2). Na jižní straně jsou ve skále jeskyně, které jí daly jméno – Cave Rock (cave = angl. jeskyně, rock = angl. skála).

První, krátký, tunel byl proražený v roce 1931, druhý následoval až 1957, s rozšířením US Route 50 na čtyři pruhy, a to za více než 450 000 \$ (v dnešní paritě cca 5 mil. \$). Západní tunelová trouba měla původně délku toliko 47 m a nebyla vyzděná. Vý-



Obr. 2 Legendární skála Cave na východním břehu jezera Tahoe. © 1989 Reno – Tahoe Speciality, Inc. Box 451 Tahoe City, CA. 95730. Photo By: Melbourne A. Robison. 1989 [sbírka autorů].

Na letecké fotografii je dobře vidět jižní portál mladšího a delšího tunelu, zatímco vlevo od něj se skrývá ve stínu portál starého krátkého tunelu.

Fig. 2 Legendary Cave Rock on Lake Tahoe's east shore. © 1989 Reno – Tahoe Specialities Inc. Box 451 Tahoe City, CA. 95730. Photo By: Melbourne A. Robison. 1989 [authors' collection].

In the aerial photograph, the southern portal of the younger and longer tunnel is clearly visible, while the portal of the old short tunnel is hidden in the shadows on the left side.

chodní tubus, od počátku vybavený betonovou výztuží, je dlouhý 120 m.

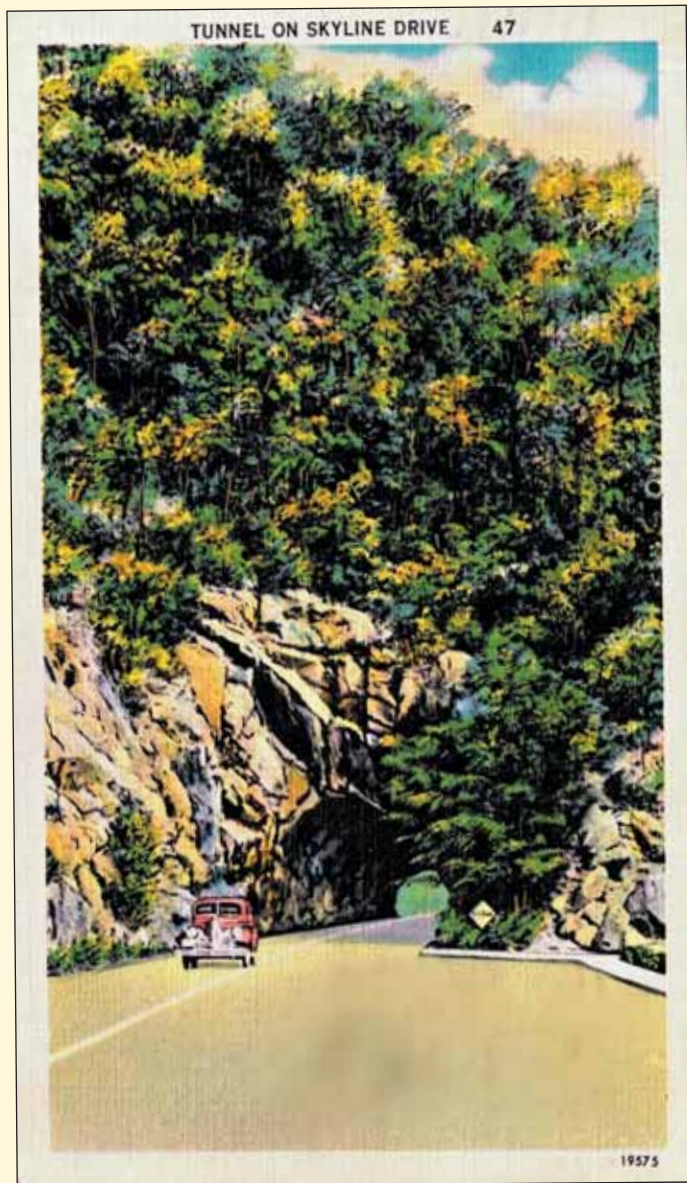
Po skalním sesuvu v roce 2015 byl starší tunel na severní straně doplněn ochrannou galerií, a především opatřený částečnou betonovou obezdívkou, která jej prodloužila o 18 m. Obnova



zahrnovala v obou tunelech také nové osvětlení a značky na portálech, upozorňující na cyklisty nebo led v tunelu [3].

### Tunel Marys Rock na Vyhlídkové cestě č. 47 ve Virginii

Národním parkem Shenandoah ve Virginii vede malebná vyhlídková silnice (Skyline Drive) č. 47. Jednou z mnoha překážek trasy v pohoří Blue Ridge Mountains je 1 071 m vysoká hora,



**Fig. 3 Skyline Drive Tunnel No. 47. Shenandoah National Park. VA. Tunel na Vyhlídkové silnici (Skyline Drive) č. 47. Národní park Shenandoah. VA. Kolorovaná fotografie. Pub. By A. J. Simonpietri, Jr. Front Rooyal, Virginia. 1951 [sbírka autorů].**

Na pohlednici je vstup do tunelu od severu. Patrný je i (v době pořízení snímku) dosud nevyzděný profil.

**Obr. 3 Skyline Drive Tunnel No. 47. Shenandoah National Park. VA. Coloured photograph. Pub. By A. J. Simonpietri, Jr. Front Rooyal, Virginia. 1951 [authors' collection].**

The postcard presents the entrance to the tunnel from the north. Also visible (at the time the picture was taken) is the until then unlined profile.

pojmenovaná Mary's Rock (též Marys Rock – Mariina skála). Prochází jí jediný automobilový tunel parku, 200 m dlouhý, dvouproutý, při světlé výšce pouhých 3,86 m. Byl proražen v lednu 1932, po třech měsících nepřetržité práce pracovníků

tzv. Civilian Conservation Corps (CCC). Šlo o státní organizaci, která pro zmírnění dopadů Velké hospodářské krize mezi lety 1933–42 dala práci v rámci veřejných projektů více než 3 mil. nezaměstnaným.

Tunel původně postrádal jakoukoliv obezdívku, což dodnes platí pro oba portály (obr. 3).

Vzhledem k potížím s vývěry vody do tunelu a tvořením rampouchů v zimě bylo mezi červencem 1958 a dubnem 1959 instalováno betonové ostění. Výsledky tohoto opatření jsou nicméně dlouhodobě hodnoceny jako „omezené“ [4].

### Starý tunel v Šošonském kaňonu ve Wyomingu

Buffalo Bill Dam je betonová hráz a vodní dílo (VD) na řece Shoshone ve Wyomingu. Vybudování přehradu a využití vody pro zúrodnění okolní půdy bylo velkou vizí slavné postavy Divokého západu Williama „Buffalo Billa“ Codyho. Ten založil i nedaleké město Cody a poskytl velkou část pozemků pro VD, které proto od roku 1946 nese jeho jméno. Hráz vysoká 99 m, postavená v letech 1905–10, byla v době dokončení dokonce nejvyšší na svě-



**Obr 4 První tunel v Šošonském kaňonu. Published by J. L. Robbins Co., Spokane, Wash. Kolorovaná fotografie. 1910 [sbírka autorů].**

Levý břeh Shoshone River, východní vstup do starého tunelu – proti proudu řeky. **Fig. 4 The first tunnel in the Shoshone canyon. Published by J. L. Robbins Co., Spokane, Wash. Coloured photography. 1910 [authors' collection].**

Left-hand bank of the Shoshone River, east entrance to the old tunnel – upriver.

tě. Od roku 1973 je VD Národní historickou stavební památkou a okolí přehradního jezera bylo vyhlášené Státním parkem Buffalo Billa.

Hovoří-li se pak o „tunelech v Šošonském kaňonu“, je třeba rozlišit tři entity:

- Na obr. 4 je starý krátký skalní tunel na úzké vozové cestě vstupující od východu do kaňonu, původem z doby dobývání Divokého západu a stavby VD.
- V letech 1937–39 byl vyražený 4,5 km dlouhý irigační Shoshone Canyon Tunnel. Jeho stavba se potýkala s velmi komplikovanou geologií způsobenou geotermálními vlivy, s vývěry sirovodíku z hory (příčemž zahynuli dva raziči) a nutností překonat tunelem až 21 m dlouhou jeskyni.
- V roce 1960 byly, s odsunem tzv. Yellowstone Highway (US 20/14/16) od Shoshone River, otevřeny od města Cody k přehradě tři tunely – jsou 81,4; 59,7 a 976,1 m dlouhé, obousměrné a mají pro každý směr jen jeden jízdní pruh. Oba krátké jsou vyzděné zcela, dlouhý tunel (který je současně nejdelším ve Wyomingu) jen částečně [5, 6].



### China Bar tunel v Britské Kolumbii

Kaňon řeky Fraser se táhne v B. C. v délce 270 km, od Yale až k soutoku s řekou Chilcotin. Jeho jižní část je vůbec hlavním dopravním koridorem z pobřeží do vnitrozemí. Složitě přírodní podmínky zde musí železnice i silnice překonávat řadou tunelů (např. Kanadská pacifická železnice jich zde provozuje jen v úseku Yale–Lytton 30, z nich nejdelší má 2,4 km).

Dálniční tunely v kaňonu Fraser mezi Yale a Boston Bar byly vyraženy jako součást projektu Trans-Canada Highway. Je jich sedm, a to od jihu k severu: Yale (dlouhý 286 m, dokončený 1963), Saddle Rock (146 m, 1958), Sailor Bar (292 m, 1959), Alexandra (290 m, 1964), Hell's Gate (57 m, 1960), Ferrabee (300 m, 1964) a China Bar (610 m, 1961).



Obr. 5 Poblíž Boston Bar, Britská Kolumbie. China Bar Tunnel, dlouhý 637 m (2 090 stop), je jedním z tunelů a mostů – moderních zázraků, které nahradily zrádnou stezku průkopníků do Frazer Canyonu. Photo-Right – Dorsey McTaggart. Dist. By „Scenes by Dorsey“ 2403 Trinity St., Vancouver, B.C. Po 1961 [sbírka autorů].

Působivý severní portál dvoupruhového a obousměrného tunelu. Dobře je patrné výrazné rozpukání jinak kvalitní skalní horniny, v níž byl tunel vyražen. Dnes je povrch skály nad portálem porostlý hustou mladinou.

*Fig. 5 Near Boston Bar, B. C. China Bar Tunnel, 2,090 feet long, is one of the modern miracles of tunnel and bridge that have replaced the treacherous pioneer trail up the Frazer Canyon. Photo-Right – Dorsey McTaggart. Dist. By „Scenes by Dorsey“ 2403 Trinity St., Vancouver, B.C. After 1961 [authors' collection].*

*The impressive northern portal of the double-lane, bi-directional tunnel. The otherwise high quality rock in which the tunnel was excavated is clearly visible. Today, the rock surface above the portal is covered with dense young forest.*

Tunel China Bar (obr. 5) je z nich tedy nejdelší. Pojmenovaný je po nalezišti zlata na řece Fraser, ze kterého poté, co je pro nevyhnutnost opustili bílí prospektoři, naopak velmi zbohatli Číňané.

Přítomnost: Ze sedmi tunelů v kaňonu Fraser pouze nejkratší Hell's Gate není osvětlený a jen nejdelší China Bar je vybavený větráním. Zvláštní pozornost je v tunelech China Bar a Alexandra věnovaná cyklistům – ti automaticky aktivují před vjezdem do tunelů žlutá výstražná světla nad silnicí (obr. 5); stejný systém je připravený i pro tunel Ferrabee [7, 8].

### Túnel Nôvo v Rio de Janeiro

Tzv. Túnel Nôvo (česky Nový) na obr. 6 se nalézá ve městě a státě stejného jména – v Rio de Janeiro. Proráží v délce 250 m kopec Morro da Babilônia a propojuje dříve oddělené čtvrti města: Botafogo, Urca, Leme a Copacabana. Jde v pořadí – po tunelech Túnel Velho (1891) a Rio Comprido – Laranjeiras (1887) – o třetí tunel postavený v Riu. Tento podzemní objekt,

a především jeho pojmenování, odráží spletitý politický a hospodářský vývoj nejznámějšího města Brazílie, včetně charakteristické místní lidové reflexe. Přinejmenším je pozoruhodné, že tunel se jednak oficiálně jmenuje jinak a že nejde o tunel jeden, ale jsou dva.

Stavba první trouby probíhala od roku 1904, otevřená byla v dubnu 1906, a to pod oficiálním jménem Túnel Carioca; daleko používanější však bylo lidové Túnel do Leme nebo Túnel Novo (to jako kontrast k tunelu Velho, vůbec prvnímu, který spojil Botafogo s Copacabanou, a proto také lidově známému jako tunel Starý). V roce 1937 pak byl Túnel Carioca přejmenován na dnešní Túnel Engenheiro Coelho Cintra, podle významného inženýra a otce myšlenky proražení hory a umožnění rozvoje izolovaných čtvrtí města. Od počátku byla tunelem vedená také tramvaj. V roce 1941 byla původní světlá šířka 10 m upravena na dnešních 16 m.



Obr. 6 Brazílský turismus – Rio de Janeiro – GB. Kostel sv. Terezie a vstup do tunelu Nôvo. Sta. Tereza Church and Tunel Nôvo entrance. © mercator ® impresso no Brazil – gráficos brunner ltda. – c. p. 21.029 são paulo. Cca 1960 [sbírka autorů].

Na pohlednici se severními portály tunelů je vlevo od portálů také kostel Santa Tereza ve stylu Art deco. Pozornost si zaslouží také velkorysý profil tunelů se třemi jízdními pruhy a postranními chodníky, a rovněž mohutná skála nad portálovou římsou. Pozn.: Již jen za lehce kuriozní lze považovat také to, že někdy se tento tunel (k ostatním jménům) nazývá rovněž Túnel Prado Junior.

*Fig. 6 Brazilian tourism – Rio de Janeiro – GB. St. Theresa Church and entrance to St. Tereza Church and the Nôvo tunnel entrance. © mercator ® impresso no Brazil – gráficos brunner ltda. – c. p. 21.029 são paulo. Cca 1960 [authors' collection].*

*The postcard with the northern portals of the tunnel(s) also shows the Art Deco Santa Teresa Church to the left of the portals. Also noteworthy is the generous profile of the tunnels with three lanes and side walkways, as well as the massive rock above the portal ledge. Note: It is also only slightly curious that this tunnel is sometimes also called (among other names) the Túnel Prado Junior.*

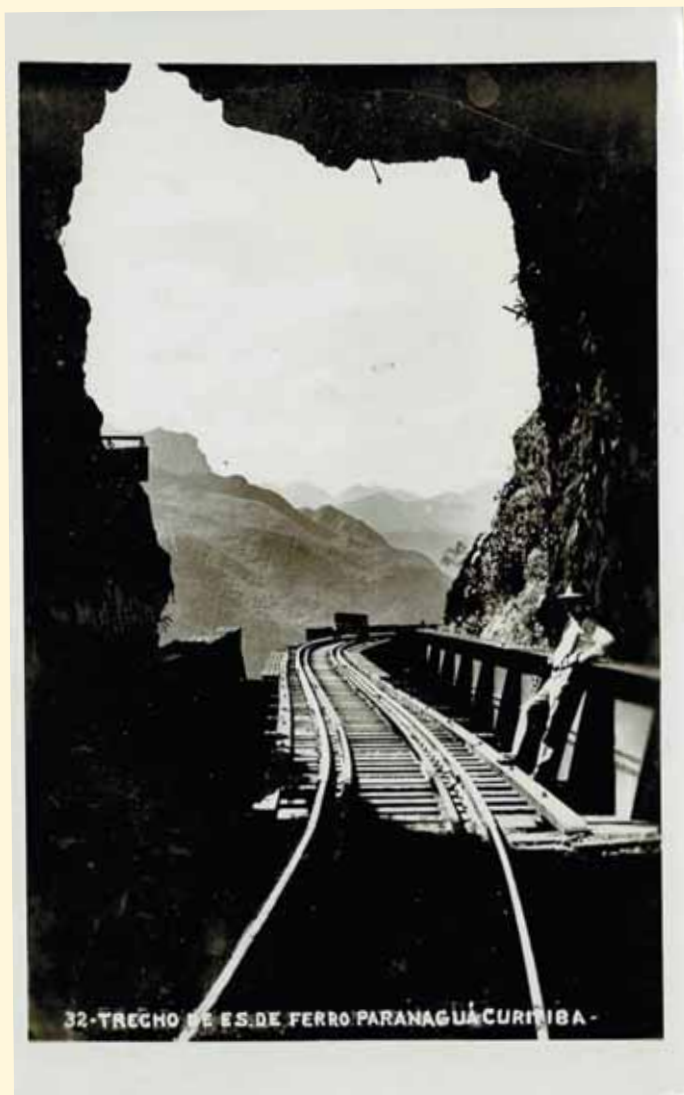
Mezi lety 1946 a 1949 pak probíhala dostavba druhé trouby, která od roku 1951 nese jméno svého stavitele Túnel Engenheiro Marques Porto.

Jako technická zajímavost se uvádí, že Túnel Engenheiro Coelho Cintra byl první ve městě, který měl od dubna 2012 instalováno LED osvětlení. [9]

### Tunel č. 5 na trati Paranaguá–Curitiba

Trať úzkého rozchodu 1 000 mm spojuje přístav Paranaguá na pobřeží Atlantiku s městem Curitiba na náhorní plošině Paraná, když protíná největší dochovanou část biotopu tzv. Atlantického

lesa v Brazílii. Železnice byla vybudovaná Belgičany mezi lety 1880–1885 a ve své době patřila mezi nejdůležitější inženýrská díla světa. Na stavbě pracovalo přes devět tisíc dělníků, kteří museli překonat zaplavované území s bažinami, a především následující strmé stoupání do cíle. Některé prameny udávají, že přitom více než polovina z nich zemřela, a to jak kvůli obecně špatným pracovním podmínkám, tak především nemocí, zejména malárii.



Obr. 7 Úsek železnice Paranaguá – Curitiba. Foto Postal Colombo, São Paulo, 1960 [sbírka autorů].

Na pohlednici je vidět vjezdový (východní) portál tunelu, s obloukem mostního objektu tzv. Carvalho viaduktu, který na tunel velmi elegantně navazuje.

Fig. 7 Paranaguá – Curitiba railway track section. Photo Postal Colombo, São Paulo, 1960 [authors' collection].

The postcard shows the entrance (eastern) portal of the tunnel, with the arch of the bridge structure called Carvalho viaduct, which connects to the tunnel very elegantly.

Trať je dlouhá 110 km a nachází se na ní 41 mostů a viaduktů a 13 tunelů (těch původně bylo 14). Nejdelší tunel č. 13 je se svými 457 m jediným v přímé, a nachází se symbolicky v nejvyšším bodě trati (952 m. n. m).

Tunel č. 5 v km 60,800 (obr. 7) je dlouhý 133 m, a na rozdíl od ostatních tunelů má boční okno do volného terénu. Původním záměrem projektu zde bylo postavit delší tunel v oblouku, ale během stavby se část stropu zřítla. Geologická studie posléze

doporučila udržet směr trasy odstřelením stěny od hory a místo uzavřeného tunelu zřídit viadukt lokálně nesený pěti pilíři vyzděnými do stěny. Proto když dnes vlak projíždí tímto místem, nevidí cestující žádnou mostovku, a to údajně přináší pocit pohybu vlaku vzduchem...

V současnosti je železnice významným dopravním spojením produkčních oblastí Paraná s přístavem Paranaguá, s každodenními nákladními vlaky. Osobní doprava není provozována, s výjimkou turistického speciálu spol. Serra Verde Express a jízda mezi Curitiba a Paranaguá přes Serra do Mar je považována za jednu z nejkrásnějších na světě [10, 11].

doc. Ing. VLADISLAV HORÁK, CSc.,  
Ing. MILAN MAJER,  
Ing. RICHARD SVOBODA, Ph.D.

#### LITERATURA / REFERENCES

- [1] New York City Subway. *Wikipedia* [online]. [cit. 2023-8-15]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/New\\_York\\_City\\_Subway](https://en.wikipedia.org/wiki/New_York_City_Subway)
- [2] Uptown Hudson Tubes. *Wikipedia* [online]. [cit. 2023-08-15]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Uptown\\_Hudson\\_Tubes](https://en.wikipedia.org/wiki/Uptown_Hudson_Tubes)
- [3] Cave Rock Tunnel. *Wikipedia* [online]. [cit. 2023-08-15]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Cave\\_Rock\\_Tunnel](https://en.wikipedia.org/wiki/Cave_Rock_Tunnel)
- [4] Tunnel Marys Rock. *Wikipedia* [online]. [cit. 2023-08-15]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Marys\\_Rock\\_Tunnel](https://en.wikipedia.org/wiki/Marys_Rock_Tunnel)
- [5] Buffalo Bill Dam. *Wikipedia* [online]. [cit. 2023-08-15]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Buffalo\\_Bill\\_Dam](https://en.wikipedia.org/wiki/Buffalo_Bill_Dam)
- [6] Shoshone Canyon Road. *Flickr* [online]. [cit. 2023-08-15]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/wyojones/32654045323>
- [7] Fraser Canyon. *Wikipedia* [online]. [cit. 2023-08-15]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Fraser\\_Canyon](https://en.wikipedia.org/wiki/Fraser_Canyon)
- [8] The highway tunnels of BC's Fraser Canyon. *The ExploreNorth Blog* [online]. [cit. 2023-08-15]. Dostupné z: <https://explorenorthblog.com/the-highway-tunnels-of-bcs-fraser-canyon/>
- [9] Terceiro túnel do Rio, Túnel Novo foi construído em 1906 e duplicado 40 anos depois. *Agenda bafafá* [online]. [cit. 2023-08-15]. Dostupné z: <https://bafafa.com.br/turismo/bairros/terceiro-tunel-do-rio-tunel-novo-foi-construido-em-1906-e-duplicado-40-anos-depois>
- [10] Estrada de Ferro Curitiba Paranaguá. *Wikipedia* [online]. [cit. 2023-08-15]. Dostupné z: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Estrada\\_de\\_Ferro\\_Curitiba\\_Paranagu%C3%A1](https://pt.wikipedia.org/wiki/Estrada_de_Ferro_Curitiba_Paranagu%C3%A1)
- [11] Serra abaixo, sobre trilhos. *Gazeta do Povo* [online]. [cit. 2023-08-15]. Dostupné z: <https://www.gazetadopovo.com.br/viver-bem/turismo/serra-abaixo-sobre-trilhos/>



## VÝROČÍ ANNIVERSARIES

## AMBERG ENGINEERING BRNO, A. S., SLAVÍ 30 LET NA ČESKÉM TRHU AMBERG ENGINEERING BRNO, A. S., CELEBRATES 30 YEARS IN CZECH MARKET

Dne 13. 09. 2023 tomu bylo již 30 let, co byla firma AMBERG Engineering Brno, a.s., zapsána do Obchodního rejstříku České republiky. Začátky nebyly lehké a bez pomoci mateřské firmy AMBERG ENGINEERING AG Švýcarsko by to tehdy ani nešlo. Začínali jsme v pěti lidech – ředitel, sekretářka a účetní v jedné osobě, jeden IT specialista a dva projektanti. Důležitý byl zejména

ten IT specialista a současně znalec Autocadu (spíše tehdy jen osoba Autocad ovládající), který ty dva projektanty kreslit v Autocadu naučil. Naše kancelář totiž již v roce 1993 praktikovala výhradně digitální zpracování výkresů v Autocadu, tedy žádná kreslicí prkna, která byla v té době ještě naprostým standardem ve většině projekčních kanceláří. A přesto se tehdy zcela neznámé a začínající firmě s minimem zaměstnanců a minimem referencí na českém trhu podařilo získat pilotní projekt – Pisárecký tunel a rovnou v tehdy nepřilíš obvyklém rozsahu – projekt pro stavební povolení, získání stavebního povolení a následně realizační dokumentace, autorský dozor na stavbě, technická podpora zhotoviteli, který neměl s NRTM příliš zkušeností, projekt a realizace měření v podzemí i na povrchu (dnes se tomu říká monitoring) a nakonec dokumentace skutečného provedení stavby a provozní dokumentace. A to všechno pro jednoho zadavatele, kterým byl zhotovitel stavby, sdružení firm Dopravní stavby, a. s., a Subterra, a.s. Dnes se tomu moderně říká „Project and Build“.

Od té doby jsme se poněkud rozrostli, počet zaměstnanců překročil číslovku 50 a dovolím si napsat, že na českém trhu a „tunelářském písečku“ jsme nepřehlédnutelní. Více o firmě si může čtenář přečíst rovněž v úvodníku tohoto čísla.

U příležitosti 10. výročí založení jsme nechali odlít malé sošky sv. Barbory, které obdrželo mnoho našich obchodních i osobních partnerů a přátel. Možná ji někteří z čtenářů ještě mají. Pro 30. výročí jsme pro změnu zvolili pamětní medaili – viz obr. 1.

*Ing. VLASTIMIL HORÁK,  
AMBERG Engineering Brno, a. s.*



*Obr. 1 Pamětní medaile společnosti k 30. výročí jejího vzniku  
Fig. 1 Commemorative medal of the company on the occasion of the 30<sup>th</sup> anniversary of its establishment*

On 13/09/2023, it has been 30 years since AMBERG Engineering Brno, a.s., was registered in the Commercial Register of the Czech Republic. The beginnings were not easy and without the help of the parent company AMBERG ENGINEERING AG Switzerland it would not have been possible at that time. We started with five people – a director, a secretary and an accountant in one person, one IT specialist and two designers. Especially important was the IT specialist and at the same time an Autocad expert (or rather just a person mastering Autocad at that time), who taught the

two designers to draw in Autocad. As early as 1993, our office used exclusively digital processing of drawings in Autocad, i.e. no drawing boards, which were still an absolute standard in most design offices at that time. And yet, at that time, a completely unknown and start-up company with a minimum of employees and a minimum of references on the Czech market, managed to obtain a pilot design for the Pisárky tunnel and, to a very unusual extent at the time, a final design, and subsequently detailed design documentation, author's supervision on the construction site, technical support for the contractor who did not have much experience with the NATM, design and implementation of measurements, both underground and on the surface (today this is called monitoring) and finally as-built documentation and operational documentation. And all of this for one client, which was the contractor, a consortium of companies Dopravní stavby, a.s., and Subterra, a.s. Today, it's called "Design and Build" in a modern way.

Since then, we have grown somewhat, the number of employees has exceeded 50 and I dare say that we are unmissable on the Czech market and the "tunnel construction market". The reader can also read more about the company in the editorial of this Tunel issue.

On the occasion of the 10<sup>th</sup> anniversary of founding, we had small statuettes of St. Barbara cast, which were received by many of our business and personal partners and friends. Maybe some of the readers still have it. For the 30<sup>th</sup> anniversary, to change the custom, we have chosen a commemorative medal – see Fig. 1.

*Ing. VLASTIMIL HORÁK,  
AMBERG Engineering Brno, a. s.*

## ROZLOUČENÍ LAST FAREWELL

## ZA ING. JANEM VÁCLAVÍKEM FOR ING. JAN VÁCLAVÍK

Dne 14. září 2023 zemřel ve věku nedožitých 90 let význačný český autorizovaný stavební inženýr se zaměřením na projektování podzemních staveb Ing. Jan Václavík, můj celoživotní pracovní kolega. Studium na Vysoké škole stavitelství Fakultě inženýrského stavitelství v Brně – odbor vodohospodářský ukončil v roce 1956. V téže roce nastoupil do Atelieru 6 zvláštních a podzemních staveb



On 14 September 2023, the distinguished Czech chartered civil engineer with a focus on the design of underground structures Ing. Jan Václavík, my lifelong work colleague died at the age of almost 90 years. He completed his studies at the University of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering in Brno – Department of Water Management in 1956. In the same year, he joined Atelier 6 of Special and Underground Structures of VPÚ (the Military Design Institute) as a designer of the water management group. Over the next few years, he expanded his specialisation to include the fields necessary to ensure the operation of underground structures, especially air conditioning, refrigeration, power supply

Vojenského projektového ústavu jako projektant vodohospodářské skupiny. V průběhu několika dalších let rozšířil svoji specializaci o obory nezbytné pro zajištění provozu podzemních staveb zejména vzduchotechniky, chlazení, zásobování el. energií a řízení technologických systémů. Stal se vedoucím technologické skupiny a později hlavním specialistou ústavu v oboru ochranných staveb. Po rozhodnutí Ministerstva vnitra ČSSR, v sedmdesátých letech minulého století, realizovat výstavbu dalších tras pražského metra A a B jako stavby dvouúčelové splňující požadavky dopravní i civilní ochrany byl Ing. Jan Václavík spoluautorem koncepce ochranného systému metra a zároveň hlavním inženýrem několika technologických center tohoto systému.

V roce 1994 ukončil svůj pracovní poměr ve VPÚ a nastoupil do mladé společnosti SATRA, spol. s r.o. ke svým bývalým spolupracovníkům z Atelieru 6. Bylo to v době, kdy společnost získala zakázku na projekt technologického vybavení Strahovského automobilového tunelu. Vzhledem k tomu, že podle původního návrhu bylo nutno řešit řadu provozních souborů jako dvouúčelové (tzn. využívané jak v režimu dopravním, tak ochranném) bylo nezbytné, aby Ing. Jan Václavík rozšířil své znalosti o specifika technologického vybavení automobilových tunelů, které dále využil v dalších zakázkách společnosti SATRA, tunelech v severozápadní části Městského okruhu Zlíchov, Mrázovka a Tunelovém komplexu Blanka. Bylo to v období, kdy po požárech v alpských tunelech docházelo ke zvýšení požadavků na bezpečnost tunelů, jejich prostorového i konstrukčního řešení, technologického vybavení a způsobu provozování. V tomto období se uplatnil jeho inženýrský přístup k práci, aktivita a spolupráce s českými (ČVUT) i zahraničními odborníky (CETU, Technická univerzita v Grazu, Univerzita v Leuvenu), neboť stávající normy a předpisy nevyhovovaly novým požadavkům a bylo nutné navrhovat nová funkční řešení. Ke konci své pracovní kariéry se dočkal i naplnění svého přání – fungujícího řídicího systému tunelu. Aktivně se podílel na návrhu řídicího systému dopravy jak tunelu Mrázovka, tak na koordinovaném líniovém řízení tunelů Zlíchov, Mrázovka a Strahov včetně systémů na navazujících pozemních komunikacích. Na zasloužený důchodový odpočinek odešel až ve svých osmdesáti letech.

Co napsat na závěr. Ve svých skoro 90 letech odešel vynikající specialista, který byl, je a bude spojen s význačnými podzemními stavbami zejména v Praze, které tady budou sloužit našim potomkům ještě hodně dlouhou dobu. Ne každému se to poštěstí. A zároveň odešel člověk, který byl přátelský, otevřený, spolehlivý a empatický. Měl jsem to štěstí, že jsem s ním prožil skoro celý svůj profesní život a že jsem se od něj mnoho naučil. Děkuji.

Čest jeho památce.

LUDVÍK ŠAJTAR

and management of technical equipment systems. He became the head of the technology group and later the institute's main specialist in the field of protective structures. After the decision of the Ministry of the Interior of the Czechoslovak Socialist Republic, in the 1970s, he worked on the construction of other lines of the Prague metro, A and B, as dual-purpose structures meeting the requirements of transport and civil protection. Ing. Jan Václavík was a co-author of the concept of the metro protection system and was also the chief engineer of several technical services centres of this system.

In 1994, he terminated his employment at VPÚ designing office and joined the young company SATRA Ltd. with his former colleagues from Atelier 6. It was at the time when the company won a contract for the Strahov Automobile Tunnel technical equipment design. Since according to the original design it was necessary to solve a number of operational units as dual-purpose ones (i.e. used both in the transport and protection mode), it was necessary for Ing. Jan Václavík to expand his knowledge of the specifics of technical equipment of automobile tunnels, which he further used in other orders won by Satra, tunnels in the northwestern part of the Zlíchov City Circle Road, Mrázovka and Blanka Tunnel Complex. This was at a time when, following the fires in the Alpine tunnels, there was an increase in requirements for the safety of tunnels, their spatial and structural design, technical equipment and method of operation. During this period, his engineering approach to work, activity and cooperation with Czech (Czech Technical University, CTU) and foreign experts (CETU, Technical University of Graz, University of Leuven) was applied, as the existing standards and regulations did not meet the new requirements and it was necessary to design new functional solutions. Towards the end of his working career, he also got his wish – a functional tunnel control system – come true. He was actively involved in the design of the traffic control system of the Mrázovka tunnel as well as in the coordinated linear control of the Zlíchov, Mrázovka and Strahov tunnels, including systems on the connecting roads. He retired at the age of eighty. What to write in conclusion. At the age of almost 90, an outstanding specialist who he was, is and will be associated with outstanding underground structures, especially in Prague, which will serve our descendants here for a long time to come, has passed away. Not everyone will be so lucky. And at the same time, a man who was friendly, open, reliable and empathetic has passed away. I was fortunate to have spent almost all my professional life with him and to have learned a lot from him. Thank you.

Honour his memory.

LUDVÍK ŠAJTAR

## ZEMŘEL BORIS KLEMENT – ZAKLADATEL Pobočky FIRMY ILF CONSULTING ENGINEERS V ČR BORIS KLEMENT, FOUNDER OF THE ILF CONSULTING ENGINEERS BRANCH IN THE CZECH REPUBLIC, HAS PASSED AWAY

V pátek 25. srpna 2023 ve věku 73 let po krátké nemoci náhle zemřel Ing. Boris Klement, který se do tunelářské komunity v České republice zapsal jako zakladatel české pobočky firmy ILF Consulting Engineers. Narodil se 17. 4. 1950 ve Vysokém Mýtě. Studium oboru konstrukce a dopravní stavby na Fakultě stavební ČVUT v Praze úspěšně zakončil v roce 1974. Následně nastoupil do národního podniku SILNICE, kde se po získá-



On Friday, August 25, 2023, Ing. Boris Klement, who entered the tunnelling community in the Czech Republic as the founder of the Czech branch of ILF Consulting Engineers, died suddenly at the age of 73 after a short illness. He was born on 17.4.1950 in Vysoké Mýto. He successfully completed his studies in the field of engineering and transport construction at the Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University in Prague in 1974. Subsequently, he joined the state-owned company SILNICE (ROADS), where, after obtaining a license to carry out blasting, he devoted himself to carrying out firing related to earthworks, especially on-line construction sites. From 1980 he worked as the head of the destruction centre in Plant 01 of Engineering and Industrial Construction company (IPS), which



ní oprávnění k provádění tržacích prací věnoval provádění odpalů souvisejících se zemními pracemi zejména na liniových stavbách. Od roku 1980 pracoval jako vedoucí střediska destrukcí v závodě 01 Inženýrských a průmyslových staveb, které bylo v té době pověřeno asanací starého Žižkova v oblasti od Bulhara až po Olšanskou ulici. Již v roce 1981 však s rodinou za dramatických okolností emigroval přes Jugoslávii a Rakousko do Německa, kde čekal na azyl v Kanadě. Vzhledem k tomu, že mladší syn měl v té době nastoupit do první třídy a azyl v Kanadě byl nejistý, rozhodl se s rodinou zůstat v Německu, kde pracoval nejprve manuálně na stavbách. Následně nastoupil do nadnárodní společnosti ILF Consulting Engineers Innsbruck a pracoval na tunelových stavbách ve Švýcarsku a Německu. Po revoluci v roce 1989 se chystal na návrat do vlasti, i když v té době ještě pracoval jako vedoucí kanceláře stavebního dozoru zajišťovaného pro Německé dráhy firmou ILF Consulting Engineers. V této roli odpovídal za kvalitu výstavby čtyř železničních tunelů Ständelberg, Rammersberg, Harrbach a Schönrain na spojnici Nantenbach na trati Hanover–Würzburg. V roce 1991 založil obchodní zastoupení firmy ILF International v Praze a postupně začal firmu rozvíjet ve všech oborech potřebných zejména pro projektování staveb dopravní infrastruktury. Srdcem však zůstával tunelářem a snažil se za podpory rakouských kolegů své zkušenosti předávat jak investorským organizacím, tak stavebním firmám. To se týkalo např. projektu prvního dálničního tunelu Branisko raženého pomocí NRTM na Slovensku nebo tunelu Vepřek jako prvního železničního tunelu v síti Českých drah raženého stejnou tunelovací metodou. V oblasti tunelů se jím vedená projekční kancelář brzy dostala svým praktickým přístupem a precizností tunelových projektů zejména do povědomí zhotovitelů. Vždy těžce nesl havárie tunelů, protože si uvědomoval, že obor poškozují a zhoršují prosazování tunelů jako součásti dopravních staveb. I když jeho jednání mnohdy budilo emoce, jeho cílem vždy bylo posunout obor podzemních staveb na evropskou úroveň, se kterou měl osobní zkušenosti. Ve firmě ILF Consulting Engineers se mu podařilo shromáždit tým lidí, kteří byli a jsou ve svých profesích respektovanými odborníky a vznikla zde řada přátelství, které přetrvávají dodnes. I za to Borisi Klementovi patří dík.

*Ing. LIBOR MAŘÍK, SAGASTA s.r.o.,  
JAROSLAV ZIKA*

at that time was entrusted with the redevelopment of old Žižkov region in the area from Bulhar Street to Olšanská Street. In 1981, however, he and his family emigrated under dramatic circumstances via Yugoslavia and Austria to Germany, where he waited for asylum in Canada. Since his younger son was about to start first grade at that time and asylum in Canada was uncertain, he decided to stay with his family in Germany, where he first worked manually on construction sites. Subsequently, he joined the multinational company ILF Consulting Engineers Innsbruck and worked on tunnel construction sites in Switzerland and Germany. After the revolution in 1989, he was preparing to return to his homeland, although at that time he was still working as the head of the construction supervision office provided for German Railways by ILF Consulting Engineers. In this role, he was responsible for the quality of the construction of four railway tunnels Ständelberg, Rammersberg, Harrbach and Schönrain on the Nantenbach linking track on the Hanover Würzburg line. In 1991, he established a sales office of ILF International in Prague and gradually began to develop the company in all fields necessary especially for the design of transport infrastructure. However, he remained a tunneller at heart and tried to pass his experience on to both investment organisations and construction companies with the support of his Austrian colleagues. This concerned, for example, the project of the first motorway tunnel Branisko driven using the NATM in Slovakia or the Vepřek tunnel as the first railway tunnel in the Czech Railways network to be driven using the same tunnelling method. In the field of tunnels, the design office led by him soon became known to contractors with its practical approach and the precision of tunnel designs. He always took tunnel accidents hard, because he was aware that the industry was damaged and the promotion of tunnels as part of transport construction got worsened. Although his actions often aroused emotions, his goal was always to move the field of underground construction to the European level, with which he had personal experience. At ILF Consulting Engineers, he managed to gather a team of people who were and are respected experts in their professions, and a number of friendships were formed that persist to this day. Thanks to Boris Klement even for this.

*Ing. LIBOR MAŘÍK, SAGASTA s.r.o.,  
JAROSLAV ZIKA*

## ZPRAVODAJSTVÍ ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE ITA-AITES CZECH TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES REPORTS

[www.lta-aites.cz](http://www.lta-aites.cz)

### ZPRÁVA Z ODBORNÉHO ZÁJEZDU ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE DO RAKOUSKA VE DNECH 11. AŽ 14. ŘÍJNA 2023

### NEWS FROM THE PROFESSIONAL TOUR OF THE CZECH TUNNELLING ASSOCIATION TO AUSTRIA FROM 11 TO 14 OCTOBER 2023

After four years, for the first time since 2019, it was possible to organise and hold a professional tour. The destination was once again Innsbruck, Austria, and the construction of the nearby Kühtai Pumped Storage Power Plant (PVP) (erneuerbare+ Kühtai, website – <https://www.erneuerbareplus.at/>). The construction in question is an extension of an existing hydropower plant. A second power plant is being built in addition, on top of the existing upper reservoir, with a second power plant to increase the total energy output and retention space, and a network of underground access and service tunnels.

Po čtyřech letech, poprvé od roku 2019, se podařilo zorganizovat a uspořádat odborný zájezd. Cílem byl opět rakouský Innsbruck a stavba nedaleké přečerpávací vodní elektrárny (PVE) Kühtai (erneuerbare+ Kühtai, web – <https://www.erneuerbareplus.at/>).

Innsbruck je příjemné podhorské město s rozvinutou dopravní infrastrukturou a sítí kravinů přímo v intravilánu města. Tato zařízení zásobují různolící místní obyvatele i návštěvníky města čerstvým mlékem přímo od struku. Kde se však tato zvířata pasou, zůstalo účastníkům zájezdu utajeno.

Stavba, o které je řeč, je rozšířením stávající vodní elektrárny.



Obr. 1 Celkový pohled na PVE Kühltal  
Fig. 1 Overall view of the pumped storage power plant Kühltal

zdroj <https://www.erneuerbareplus.at/> source <https://www.erneuerbareplus.at/>



zdroj <https://www.erneuerbareplus.at/> source <https://www.erneuerbareplus.at/>

Obr. 2 Schéma stavby  
Fig. 2 Construction site plan



Obr. 3 Kaverna strojovny s již osazenými turbínami  
Fig. 3 Transformer room cavern with turbines already installed



K již existující horní nádrži se buduje druhá, s druhou elektrárnou pro zvýšení celkového energetického výkonu a retenčního prostoru a síť podzemních přístupových a obslužných tunelů.

Na obr. 1 je celkový pohled na tři vodní nádrže, tvořících přečerpávající elektrárnu Kühtai – vlevo stávající horní nádrž, vpravo budovaná druhá horní nádrž (její vizualizace), vpravo dole dolní nádrž. Schéma stavby je uvedeno na obr. 2.

Jak je patrné z obr. 2, voda bude do nové horní nádrže přiváděna ze šesti vodních zdrojů podzemními přiváděči. Z nich nejdůležitější je páteřní přiváděč délky 25 km, ražený tunelovacím strojem ALESJA o průměru 4,2 m. Název stroje je akronymem, zkratkou složenou z prvních písmen křestních jmen šesti dam tvořících tým účastníků výstavby. Čtenářky a čtenáře bažících po bližších informacích autor odkazuje na webový článek (<https://www.tiweg.at/unternehmen/ueber-uns/news/erweiterungsprojekt-kuehtai-tunnelbohrmaschine-alesja-wurde-angedreht/>). Dodavatelem stroje byla společnost CREG – China Railway Engineering Equipment Group Co., Ltd.

Další podzemní díla tvořící stavbu byla ražena pomocí Nové rakouské tunelovací metody. V tuto chvíli jsou ražby hotovy, probíhají betonáže definitivních konstrukcí a instalace technologií (obr. 3 a 4).

Hráz nové nádrže bude kamenitá sypaná, se středovým jílovým těsněním (obr. 5). Výška tělesa hráze činí 113 m, délka v koruně 510 m, nadmořská výška koruny je 2 145 m, retenční prostor 33 mil. m<sup>3</sup>. V půli října 2023 je provedena asi 1/3 z celkové výšky hráze.

Stavebníkem je rakouská společnost TIWAG – Tiroler Wassekraft AG, která provozuje i několik dalších vodních elektráren v Tyrol-



Obr. 4 Kaverna transformátorovny  
Fig. 4 Transformer room

foto Markéta Prušková photo Markéta Prušková

sku. Zhotovitelem stavebních prací je sdružení firem Swietelsky, Jäger a Hans Bodner Baugesellschaft.

Příprava stavby začala v roce 2006, stavební práce byly zahájeny v roce 2019, uvedení do provozu se předpokládá v roce 2026.

Samotnou exkurzi vedl a svým poutavým výkladem obohatil pan Florian Zoller ze sdružení společností Kirchebner Ziviltechniker a WB Ingenieurbüro (zajišťují výkon stavebního dozoru). Po krátké přednášce v infocentru následovala prohlídka přehradního profilu a posléze fárání do strojovny a transformátorovny. Jedna ze zajímavostí výkladu byla, že stavba neměla a nemá problémy s místními obyvateli. Široko daleko je pouze jediná obec a tou je lyžařské středisko Kühtai. Počet jejích stálých obyvatel dosahuje pouze několika desítek a polovina z těchto lidí na stavbě pracuje. Ražby probíhaly rychle, v pevných skalních horninách, za použití trhačích prací. To, že stavba leží vysoko v horách, ale komplikuje zemní práce na hrázi – středové jílové těsnění se dá provádět jen od jara do podzimu v období vyšších teplot.



Obr. 5 Přehradní profil – budování hráze  
Fig. 5 Dam profile – building the dam

foto Markéta Prušková photo Markéta Prušková





foto Florian Zoller a Markéta Prušková photo Florian Zoller and Markéta Prušková

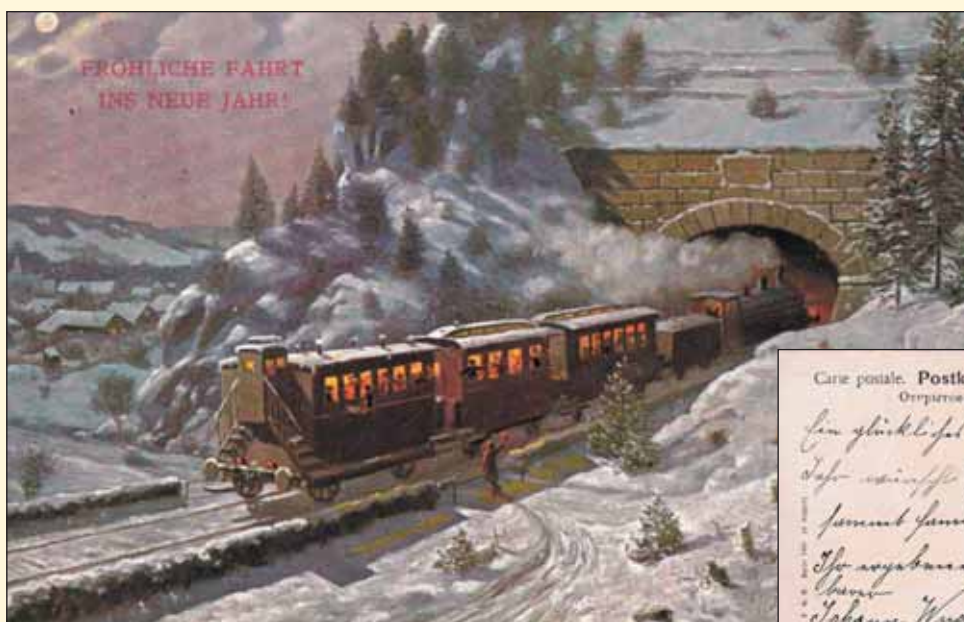
Obr. 6 Účastníci zájezdu před jedním z vozidel stavby  
Fig. 6 Tour participants before one of the construction vehicles

Závěrem autor za všechny účastníky odborného zájezdu děkuje Liborovi Maříkovi za perfektní domluvu a přípravu exkurze a Markétě Pruškové za skvělé organizační zajištění celého zájezdu (obr. 6).

Zdař Bůh na příštím odborném tunelářském zájezdu.

**TOMÁŠ EBERMANN,**  
člen redakční rady

**Redakce časopisu Tunel přeje všem svým čtenářům jen to nejlepší do roku 2024.**  
**The editorial staff of TUNEL journal wishes all its readers the very best in 2024.**



Reprodukce historické pohlednice, kterou poslal dne 30. XII. 1907 p. Johan Wundernitz z Rückersdorfu p. Johanu Mayerovi do Vídně s přáním k Novému roku 1908. Sběrka autorů seriálu o tunelových pohlednicích.

Reproduction of a historical postcard sent on 30 December 1907 by Mr. Johan Wundernitz from Rückersdorf to Mr. Johan Mayer in Vienna with wishes for the New Year 1908. A collection of the authors of the series on tunnel postcards.



Výstavba pražského metra D Pankrác – Olbrachtova  
Construction of the Prague Metro D Pankrác – Olbrachtova



**SUBTERRA** 

Nedržíme se při zemi  
Never stuck on the ground

Sledujte nás  
[www.subterra.cz/online](http://www.subterra.cz/online)







## KOMPLEXNÍ GEOTECHNICKÁ ŘEŠENÍ

Dodáváme komplexní geotechnická řešení pro realizaci rozsáhlých podzemních, dopravních a vodohospodářských projektů již od roku 1926. Specializujeme se zejména na průzkumy, poradenství, supervize, zkušebnictví, monitoring a analýzy geotechnických rizik. Jedinečná skladba oborů, vlastní kapacity v geotechnickém monitoringu staveb, laboratorním a terénním zkušebnictví s největší kapacitou prováděných akreditovaných zkoušek v Česku, a výsledky vlastního aplikovaného výzkumu, nám umožňují řešit nejnáročnější úkoly v oboru po celém světě.

[www.geotechnika.cz](http://www.geotechnika.cz)