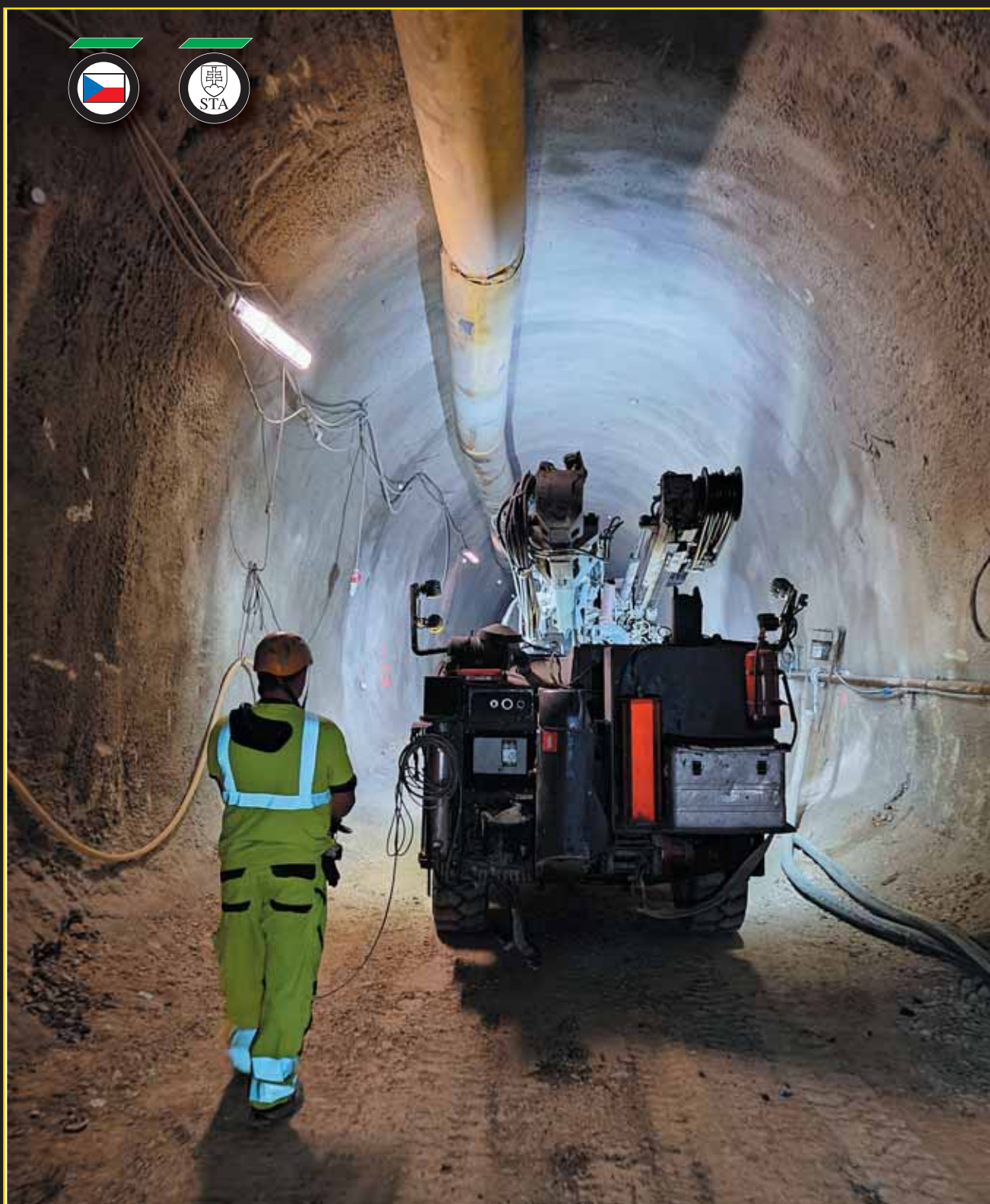


Tu nel

č. 3
2026

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



32. MEZINÁRODNÍ KONFERENCE PRAŽSKÉ GEOTECHNICKÉ DNY 2026

Geotechnické poruchy a havárie

4.– 5. května 2026

32. ročník Pražských geotechnických dnů přinesl dva dny odborných přednášek a případových studií. Společně se zahraničními odborníky jsme se zaměřili na poruchy a selhání geotechnických konstrukcí, jejich příčiny, mechanismy vzniku a důsledky pro návrh, realizaci i bezpečný provoz staveb.

Akademie věd České republiky – Univerzita Karlova na Albertově

 **SG GEOTECHNIKA.**

 **CSSI SMGE**



UŽ STO LET STOJÍME U VELKÝCH PŘÍBĚHŮ ČESKÉHO STAVEBNICTVÍ

Od roku 1926 poskytujeme geotechnická řešení pro technicky náročné podzemní, dopravní a vodohospodářské stavby. Provázíme je od průzkumu a návrhu přes realizaci až po dlouhodobé sledování jejich chování. S důrazem na bezpečnost, stabilitu a dlouhodobou funkčnost.

www.geotechnika.cz



 **SG GEOTECHNIKA.**

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

OBSAH

Editorial:

Ing. Petr Makásek, Ph.D., člen redakční rady časopisu Tunel 1

Úvodníky:

Mgr. Lucie Bohátková, obchodní ředitelka SG Geotechnika a.s. 2

Ing. Jiří Čurda, jednatel společnosti SAGASTA s.r.o. 3

**TEP Velké Meziříčí – Křižanov, inženýrsko-geologický průzkum
projektovaného tunelu Židův rybník**

Mgr. Jakub Ondráček, Geotechnika a.s. 4

**Výzkumné aktivity v rámci průzkumu horninového masivu
pro hlubinné uložení radioaktivního odpadu**

RNDr. Karel Sosna, Ph.D., Ing. Jiří Záruba, MBA, Geotechnika a.s. 12

**Výstavba kolektoru Hangár G na Letišti Václava Havla Praha
z pohledu technického dozoru**

Ing. Radek Bernard, Ph.D., Ing. Ivo Kohoušek, SG Geotechnika a.s. 21

Hostivický železniční tunel na Letišti Václava Havla Praha

Ing. Jakub Vladík, SAGASTA s.r.o. 31

**Kolektor Hangár G pro Letiště Václava Havla Praha
– technické řešení a zkušenosti z výstavby**

Ing. Martin Baláž, Ing. Vladimír Prajzler, SAGASTA s.r.o. 40

**Silniční tunel Pětídomí v Českých Budějovicích, geotechnická,
logistická a další úskalí technického návrhu městského tunelu**

Ing. Libor Mařík, SAGASTA s.r.o. 53

**Fotoreportáž z výstavby druhého raženého tramvajového tunelu
v Brně – tunel Kamechy** 65

Ze světa podzemních staveb 66

Zprávy z tunelářských konferencí 68

Aktuality z podzemních staveb v České a Slovenské republice 78

Z historie podzemních staveb 85

Zpravodajství české tunelářské asociace ITA-AITES 89

REDAKČNÍ RADA / EDITORIAL BOARD

Čeští a slovenští členové / Czech and Slovak members

Předseda / Chairman: doc. Dr. Ing. Jan Pruška – Fakulta stavební ČVUT v Praze
Místopředseda / Vice-Chairman: Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D. – PUDIS a.s.
prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. – Fakulta stavební ČVUT v Praze
Ing. Radek Bernard, Ph.D. – SG Geotechnika a.s.
Ing. Miloslav Frankovský – STA
Ing. Jan Frantl – Subterra a.s.
prof. Ing. Matouš Hilar, MSc., Ph.D., CEng., MICE – 3G Consulting Engineers s.r.o.
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc. – Fakulta stavební VUT v Brně
Ing. Vlastimil Horák – Amberg Engineering Brno, a.s.
doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D. – VŠB-TU Ostrava
RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D. – PUDIS a.s.
Ing. Viktória Chomová – DOPRAVOPROJEKT, a.s.
Ing. Filip Jiříčný – Metrostav TBR a.s.
Ing. Jan Korejčík – METROPROJEKT Praha a.s.
Ing. Otakar Krásný – GeoTec-GS, a.s.
Ing. Miroslav Lipka – HOCHTIEF CZ a.s.
Ing. Petr Makásek, Ph.D. – Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.
Ing. Libor Mařík – SAGASTA s.r.o.

VYDAVATEL

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

DISTRIBUCE

členské státy ITA-AITES
členové EC ITA-AITES
členské organizace a členové CzTA a STA
externí odběratelé
povinné výtisky 35 knihoven a dalších organizací

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 redaktori: 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: Triangl, a.s., Beranových 65, 199 02 Praha 9
Foto na obálce: Ražený úsek kolektoru Hangár G pod Letištěm Václava Havla
v Praze (foto Ing. Libor Mařík, SAGASTA s.r.o.)

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

CONTENTS

Editorials:

Ing. Petr Makásek, Ph.D., member of the Tunel journal editorial board 1

Mgr. Lucie Bohátková, Sales Director SG Geotechnika a.s. 2

Ing. Jiří Čurda, Managing Director of the SAGASTA s.r.o. company 3

**Velké Meziříčí – Křižanov Rail Line, Engineering Geological
Investigation of the Proposed Židův Rybník Tunnel**

Mgr. Jakub Ondráček, Geotechnika a.s. 4

**Research Activities Within the Investigation of the Rock Mass
for a Deep Geological Repository of Radioactive Waste**

RNDr. Karel Sosna, Ph.D., Ing. Jiří Záruba, MBA, Geotechnika a.s. 12

**Hangár G Utility Tunnel Construction at the Václav Havel Airport Prague
from the Perspective of Technical Supervision**

Ing. Radek Bernard, Ph.D., Ing. Ivo Kohoušek, SG Geotechnika a.s. 21

Hostivice Railway Tunnel at the Václav Havel Airport Prague

Ing. Jakub Vladík, SAGASTA s.r.o. 31

**Hangar G Utility Tunnel for Václav Havel Airport Prague
– Technical Solution and Construction Experience**

Ing. Martin Baláž, Ing. Vladimír Prajzler, SAGASTA s.r.o. 40

**Pětídomí Road Tunnel in České Budějovice, Geotechnical, Logistical,
and Other Pitfalls of the Technical Design for an Urban Tunnel**

Ing. Libor Mařík, SAGASTA s.r.o. 53

**Picture Report from the Construction of the Second Excavated
Tram Tunnel in Brno – the Kamechy Tunnel** 65

The World of Underground Constructions 66

News from Tunnelling Conferences 68

**Current News from the Czech and Slovak Underground
Constructions** 78

From the History of Underground Constructions 85

Czech Tunnelling association ITA-AITES reports 89

Ing. Soňa Masarovičová, Ph.D. – ŽU, Stavební fakulta
Ing. Boris Šebesta
Ing. Michal Šerák – Inženýring dopravních staveb a.s.
Ing. Pavel Šourek – SATRA, spol. s r.o.
Ing. Jaromír Zlámal – POHL cz, a.s.
CzTA ITA-AITES: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.

Zahraniční 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 Witke – 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: Triangl, a.s., Beranových 65, 199 02 Praha 9
Cover photo: The Excavated Section of the Hangar G Utility Tunnel beneath
Václav Havel Airport Prague (photo Ing. Libor Mařík,
SAGASTA s.r.o.)

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

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

CZTA:

Čestní členové:

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

ALMAPRO, s.r.o.
Průběžná 1108/77
100 00 Praha 10 – Strašnice

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 VSB-TU Ostrava
L. Poděštil 1875/17
708 33 Ostrava – Poruba

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

Ferrit s.r.o.
Na Zbytkách 41
739 01 Staré Město

FIRESTA – Fišer,
rekonstrukce, stavby a.s.
Mlýnská 388/68
602 00 Brno

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

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

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

ILF Consulting Engineers, s.r.o.
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

MBS CZ-SK s.r.o.
F.V.Veselého 2760/7
193 00 Praha 9 – Horní Počernice

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

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

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

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

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

OSTROJ a.s.
Těšínská 1586/66
746 01 Opava

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

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

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

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

SPRÁVA ÚLOŽIŠT
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

Tunguard International s.r.o.
Ovocný trh 572/11
110 00 Praha 1 – Staré Město

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

V-CON, s.r.o.
Vaňurova 505/17
460 07 Liberec 3

Vectorama s.r.o.
Nádražní 762/32
150 00 Praha – Smíchov

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:

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

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

Doprastav, a.s.
Drieňová 27
826 56 Bratislava

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

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

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

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

GEOstatik a.s.
Kragujevská 11
010 01 Žilina

HOCHTIEF SK, s. r. o.

Miletičova 23
821 09 Bratislava

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

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

Marti a. s.
K Cintorínu 63
010 04 Žilina – Bánová

MBS CZ-SK s.r.o.,
org. zložka Slovensko
Mierová 32
821 05 Bratislava

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

Prírodovedecká fakulta UK
Katedra inžinierskej geológie
Mlynská dolina G
842 15 Bratislava

REHAU s.r.o.
Kopčianska 82/A
850 00 Bratislava

REMING CONSULT a.s.

Tomášikova 64/A
Lake Side Park II
831 04 Bratislava

Renesco a.s.
K cintorínu 63
010 04 Žilina

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

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.
Podunajská 28
821 06 Bratislava

TECHNICKÁ UNIVERZITA

Fakulta BERG
Katedra dobývania ložísk a geotechniky
Katedra geotech. a doprav. staviteľstva

Letná ul. 9
042 00 Košice

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

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

Ústav geotechniky SAV
Watsonova 45
043 53 Košice

VÁHOSTAV, 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

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

Vážení čtenáři časopisu Tunel,

tentokrát si Vám dovoluujeme předložit číslo časopisu Tunel plné projektů jistým způsobem atypických. Rozmanitost projektů je z mého pohledu na naší tunelářské práci to nejkrásnější, a právě články v tomto čísle jsou ukázkou toho, že naše tunelářská práce je všechno, jenom ne jednotvárná a nudná. S nástupem nových materiálů, lepších technologií výstavby a 3D projektování si toho investoři chtějí více dovolit. Projekty se tak plní složitými řešeními v náročných geologických podmínkách.

Tunel Pětídomí v Českých Budějovicích v sobě skrývá silniční dvoutubusový tunel se dvěma podzemními kruhovými křižovatkami a třemi výjezdovými rampami, realizovaný ve stavební jámě v prostředí zvodnělých sedimentů. Kříží kolejiště seřadovacího a osobního nádraží a bylo tak nutné řešit složité podmínky budoucí výstavby s ohledem na výluky jednotlivých kolejí.

Inženýrsko-geologický průzkum pro tunel Židův rybník zase ukazuje, jak jsou informace o základové půdě klíčovým podkladem k posouzení variant, byť se smutným závěrem pro tuneláře, nahradit tunel zářezem. Kvalitu a rozsah inženýrskogeologického průzkumu tedy není radno podceňovat.

Dva články se věnují výstavbě kolektoru Hangár G pro Letiště Václava Havla. Jeden z pohledu technického dozoru, druhý z pohledu projektanta, detailněji zaměřený na raženou část kolektoru. Výzvou projektu byla zejména ražba s nízkým nadloží 4–6 m ve zvětralých slínovcích a kvarterních pokryvech pod provozovanou ulicí K Letišti a inženýrskými sítěmi. Vše za plného provozu letiště.

Na letišti ještě zůstaneme s článkem o Hostivickém tunelu na železničním zaokružování Praha – Letiště Praha – Kladno. Tunel délky 2,8 km částečně pod terminály a křižující vzletovou a přistávací dráhu snad jednou bude ukázkou dobré tunelářské práce.

Posledním tématem jsou výzkumné aktivity masivu pro hlubinné úložiště radioaktivního odpadu.

Tak Vám přeji příjemné čtení.



*Ing. PETR MAKÁSEK, Ph.D.,
člen redakční rady časopisu Tunel*

Dear readers of the Tunel journal,

this time, we took the liberty of bringing forward this edition of the Tunel journal, full of projects, each atypical in its own way. The variety of projects is, from my perspective, the most beautiful part of our tunnelling work, and specifically, articles in this edition are a display of the fact that our tunnelling work is everything, just not one-sided and boring. With the arrival of new materials, better construction technologies, and 3D designing, the contract owners want to be more daring. Designs are therefore accomplished by complex solutions in complicated geological conditions.

The Pětídomí tunnel in České Budějovice contains a road twin-tube tunnel with two underground roundabout intersections and three exit ramps, implemented in a construction pit in a location of sediment aquifers. It crosses the trackage of a switchyard and passenger railway station, and therefore, it was necessary to deal with the difficult conditions of the future construction regarding traffic closures of individual tracks.

The engineering-geology survey for the Židův rybník tunnel then displays how information about foundation soil is a key basis for assessing variants, albeit with a sad outcome for tunnellers, to replace the tunnel with a cut. It is therefore not good to underestimate the quality and extent of an engineering-geology survey.

Two articles are dedicated to the construction of the Hangár G utility tunnel for the Václav Havel airport. One from the perspective of technical supervision, the second from the view of the designer, focused in detail on the excavated section of the utility tunnel. A challenge for the designer was primarily the excavation with shallow overburden of 4–6m in weathered marlstones and Quaternary covers under the in-operation K Letišti Street and engineering networks. All of that during full airport operation.

We will remain at the airport with an article about the Hostivice tunnel on the Prague – Prague airport – Kladno railway loop. The 2.8km long tunnel, partially beneath terminals and crossing a runway, will one day hopefully be a display of good tunnelling work.

The last topic is the rock massif exploration activities for a radioactive waste deep geological repository.

So, I wish you a pleasant read.

*Ing. PETR MAKÁSEK, Ph.D.,
member of the Tunel journal editorial board*



**VÁŽENÉ KOLEGYNĚ A KOLEGOVÉ,
ČTENÁŘI ČASOPISU TUNEL,**

dostává se vám do rukou nové číslo časopisu Tunel, které vychází v pro náš obor mimořádném období. V letošním roce slavíme sto let působení společnosti SG Geotechnika a.s. Právě toto století nepřerušené tradice, sběru dat a rozvoje inženýrské geologie nám dnes dává pevný základ pro realizaci nejnáročnějších infrastrukturních i strategických výzev. Málokterá domácí organizace se může pochlubit tím, že stála u zrodu tak obrovského množství klíčových infrastrukturních děl. Většina velkých podzemních či dopravních staveb – od historicky prvních hloubených úseků pražského metra až po současný komplexní monitoring trasy D nebo přípravu ambiciózního projektu Berounského tunelu – se neobešla bez precizních podkladů a odborného dohledu, které SG Geotechnika přináší již od roku 1926.

Při pohledu na uplynulé století je zřejmé, že bezpečné podzemní stavitelství nelze budovat na zelené louce, ale na pevných základech ověřených dat, trpělivého terénního průzkumu, a špičkové geomechanické laboratoře. Právě synergie mezi historickou zkušeností a nejmodernějšími technologiemi, jako je třeba 3D numerické modelování nebo laserové skenování, posouvá hranice našeho oboru neustále vpřed. Moji kolegové vás v tomto čísle seznámí se třemi zajímavými projekty.

Prvním z nich jsou výzkumné aktivity v rámci průzkumu horninového masivu pro hlubinné úložiště radioaktivního odpadu. Tento unikátní projekt celonárodního významu vyžaduje predikci chování hornin v horizontu tisíciletí. Bez spolehlivé geomechanické laboratoře, geologické a geotechnické interpretace a pokročilého modelování masivu, které SG Geotechnika rozvíjí již od roku 1926, by příprava takto komplexního a bezpečného díla nebyla možná.

Od hlubinné budoucnosti se v dalším článku přenášíme k modernizaci naší železniční sítě. Podrobně vás seznámíme s výsledky inženýrskogeologického průzkumu pro tunel Židův rybník na trati TEP Velké Meziříčí – Křižanov/Vlkov.

Třetí článek se věnuje specifické městské podzemní infrastruktuře, a to výstavbě tunelového kolektoru na Letišti Václava Havla Praha. Realizace liniových podzemních děl v mezinárodním letištním areálu s sebou nese extrémní nároky na geotechnický monitoring, minimalizaci sedání povrchu a bezpečnost za plného provozu.

Stoleté jubileum SG Geotechniky je oslavou nejen jedné úspěšné firmy, ale celého našeho tunelářského oboru, který denně dokazuje, že umí bezpečně zkrotit i ty nejsložitější geologické podmínky.

Přeji vám podnětné a inspirativní čtení

**DEAR COLLEAGUES,
READERS OF THE TUNEL JOURNAL,**

you are getting your hands on the new edition of the TUNEL journal, which is coming out at an unprecedented time for our field. This year, we are celebrating one hundred years of the company SG Geotechnika a.s. Exactly this century of uninterrupted tradition, data collection, and engineering geology development gives us a solid foundation today for the implementation of the most challenging infrastructure and strategic challenges.

Hardly any domestic organisations can flaunt that they stood at the birth of such a huge number of key infrastructural projects. The vast majority of large underground or transportation structures from the historically first cut-and-cover sections of the Prague metro up to the complex monitoring of the D line today or the preparation of the ambitious Beroun tunnel project would not make do without precise data and expert supervision, which the SG Geotechnika company has already been providing since 1926.

When looking at the passing century, it is clear that safe underground construction can not be built on a greenfield, but on solid foundations of open data, patient field survey, and a top-class geomechanical laboratory. Precisely, the synergy between historical experience and cutting-edge technologies such as 3D numerical modelling or laser scanning pushes boundaries of our field constantly ahead. In this edition, my colleagues will familiarise you with three interesting projects.

The first one talks about exploratory activities within the rock massif survey for a deep geological repository for radioactive waste. This unique project of national importance requests a prediction of rock behaviour within the next millennia. Without a reliable geomechanical laboratory, geological and geotechnical interpretation, and advanced massif modelling, which SG Geotechnika has been developing since 1926, the preparation of such a complex and safe structure would not be possible.

In the next article, we then move on from the distant future to the modernisation of our railway network. We will familiarise you in detail with the results of the engineering-geology survey for the Židův rybník tunnel on the TEP Velké Meziříčí – Křižanov/Vlkov railway line.

The third article is dedicated to specific urban underground infrastructure, more precisely, the construction of a utility tunnel at the Václav Havel Airport in Prague. The implementation of linear underground structures on the compound of an international airport brings along extreme requirements for geotechnical monitoring, minimising surface settlement, and safety during full operation.

The centennial anniversary of SG Geotechnika is a celebration not only of one successful company, but also of our entire tunnelling field that proves daily that it can safely tame even the most difficult geological conditions.

I wish you a thought-provoking and inspiring read

MGR. LUCIE BOHÁTKOVÁ

obchodní ředitelka SG Geotechnika a.s.

Sales director SG Geotechnika a.s.

VÁŽENÍ PŘÁTELÉ PODZEMNÍCH STAVEB,

jsem velmi rád, že vás mohu oslovit v době, kdy slavíme 10. výročí od založení naší společnosti. Může se zdát, že se v životě projekční kanceláře jedná o krátké časové období, ale cesta, kterou jsme ušli, je z mého pohledu velmi významná. Firmu zakládala úzká skupina inženýrů, kteří se rozhodli vytvořit moderní projekční kancelář postavenou na přátelských osobních vztazích dávajících zaměstnancům pocit vzájemného respektu, možnost osobního růstu a pocit sounáležitosti. To se nám myslím i přes rychlý nárůst počtu zaměstnanců a vytváření dalších poboček po celé republice i na Slovensku daří. Jsme zaměřeni především na infrastrukturní projekty, ale soustředíme se i na výstavbu pro soukromé developery, konzultační činnost pro investorské organizace i stavební firmy. Kromě pražské kanceláře máme dnes pobočky v dalších sedmi městech. V Bratislavě jsme založili firmu SAGASTA SK. Podařilo se vytvořit personálně silná oddělení silničních a železničních staveb, vodních staveb, pozemních staveb a architektury, zajišťujeme projekty týkající se udržitelnosti a životního prostředí, a nezbytnou součástí je oddělení inženýringu.

Před více než pěti lety jsme náš tým doplnili o oddělení podzemních staveb. Jádrem tvoří zkušení inženýři, kteří mají za sebou řadu realizačních projektů dálničních i železničních tunelů. Skupinu rozšiřujeme o mladé inženýry, kteří mohou čerpat zkušenosti od starších kolegů a zároveň přinášejí potřebnou energii a pozitivní přístup k využívání nových technologií. Výsledkem je řada precizně zpracovaných projektů od studií až po aktivní účast při výstavbě tunelů podle naší realizační dokumentace. K významným tunelovým zakázkám z poslední doby patří projekty tunelů Opevnění a Poříčí na dálnici D11, logistický i technicky velmi náročný silniční tunel Pětídomí pod nádražím v Českých Budějovicích či prováděcí projekt průzkumné štoly pro tunel Luka na dálnici D3. Projektujeme čtyři tunely na vysokorychlostních tratích, zabýváme se ale i rekonstrukcí historických železničních tunelů. Podle našich projektů byly úspěšně rekonstruovány čtyři tunely na traťovém úseku Tanvald–Kořenov nebo kompletně zrekonstruován Dolnolučanský tunel. Připravuje se rekonstrukce Libeňského tunelu pod Bílou Skálou v Praze. Technicky náročný byl i realizační projekt raženého kolektoru Hangár G pod Letištěm Václava Havla. Ve stejné lokalitě projektujeme Hostivický železniční tunel, který je součástí tzv. zaokružování letiště.

Naší doménou jsou i inovace. K nim patří u nás unikátní myšlenka využití podzemních staveb pro čerpání geotermální energie. Kromě studií pro ŘSD ČR a Dopravní podnik hlavního města Prahy máme za sebou vypracování zadávací dokumentace pro získání geotermální energie z ražené stanice Nové Dvory na lince metra D. Ve spolupráci s akademickou sférou VŠB-TU Ostrava se nám podařilo získat významný grant s názvem „Výměníky tepla implementované v konstrukčních prvcích podzemních staveb“. Z podobné kategorie je např. i vypracování datových sad pro aplikaci BIM pro silniční a dálniční tunely, které zpracováváme pro ŘSD. Náš tunelářský tým je stavebními firmami vyhledáván i v případě projektů, kde je možné optimalizovat technické řešení, což jsou typicky PPP projekty nebo projekty prováděné podle zásad žluté nebo smaragdové knihy FIDIC. Aktivně jsme se zapojili i do činnosti České tunelářské asociace. Máme zástupce v předsednictvu i redakční radě časopisu Tunel. Po stříbrném sponzorství mezinárodní konference Podzemní stavby Praha 2023 jsme se v letošním roce stali jejími zlatými partnery.

Ohlédnu-li se na závěr za uplynulými deseti lety, největší radost mi nedělají jen dokončené projekty, stavby nebo získané zakázky. Největší hodnotou pro mě jsou lidé, se kterými jsem měl možnost touto cestou jít. Děkuji všem kolegům za jejich odbornost, nasazení a vzájemnou důvěru, našim klientům za příležitosti a partnerům za korektní spolupráci. Věřím, že právě spojení zkušeností, odvahy hledat nová řešení a respektu k lidem bude i nadále základem všeho, co ve společnosti SAGASTA společně vytváříme.



ING. JIŘÍ ČURDA

Jednatel společnosti SAGASTA s.r.o.

Managing Director of the SAGASTA s.r.o. company

DEAR FRIENDS OF UNDERGROUND CONSTRUCTION,

I am very pleased that I can address you at a time when we celebrate the 10th anniversary of founding our company. It can seem like a short period of time in the life of a design office, but the path that we have walked is, from my perspective, very important. The company was founded by a close group of engineers who decided to create a modern design office built on friendly personal relationships that give the employees a feeling of mutual respect, the possibility of personal growth, and a sense of belonging together. I believe we are doing well in that regard, despite the rapid growth of the number of employees and the creation of other

branches across the entire Czech Republic and Slovakia. We are focused mainly on infrastructure projects, but we also concentrate on construction for private developers, consulting activities for contract owner organisations, and even construction companies. Today, besides our Prague branch, we have branches in seven other cities. We founded the SAGASTA SK company in Bratislava. We managed to create strongly staffed departments of road and railway structures, hydraulic structures, underground construction, and architecture. We provide designs related to sustainability and the environment. The engineering department is an integral part of our company as well.

More than five years ago, we complemented our team with the department for underground construction. The core is formed by experienced engineers who have worked on many implementation designs for motorway and railway tunnels. The group also includes young engineers, who can gain experience from their older colleagues, and contribute with their positive approach to the use of new technologies. The result is an array of precisely elaborated designs from studies to active participation during the construction of tunnels according to our implementation documentation.

The significant tunnel contracts recently include the designs of the Opevnění and Poříčí tunnels on the D11 motorway, the logistically and technically very demanding Pětídomí road tunnel underneath the railway station in České Budějovice, and the work design of the exploratory gallery for the Luka tunnel on the D3 motorway. We are currently designing four tunnels on high-speed rail lines, but we also pursue reconstructions of historic railway tunnels. Four tunnels on the Tanvald – Kořenov railway section have been successfully reconstructed, and the Dolnolučanský tunnel has been completely reconstructed, according to our designs. The reconstruction of the Libeň tunnel underneath Bílá Skála in Prague is being prepared. A real technical challenge was the implementation design for the excavated “Hangár G” utility tunnel underneath the Václav Havel Airport Prague. At the same location, we are designing the Hostivice railway tunnel, which is a part of the so-called airport railway loop.

Innovations also belong to our scope of interest. This includes the idea of using underground structures for drawing geothermal energy, which is unique in the local context. Besides studies for ŘSD ČR and Prague Public Transit Company, we have finished elaborating the tender documentation for gaining geothermal energy from the excavated Nové Dvory station on the metro D line. In cooperation with the academic sphere represented by VŠB-TU Ostrava, we managed to obtain a significant grant called “Výměníky tepla implementované v konstrukčních prvcích podzemních staveb”. A similar category of projects includes, for example, preparing data sets for the application of BIM for road and motorway tunnels, which we are preparing for ŘSD. Our tunnelling team is sought after by construction companies even in the case of designs where the technical solution can be optimised, which typically includes PPP projects or projects carried out according to the conditions of the Yellow or the Emerald FIDIC Book.

We also actively participate in the activities of the Czech Tunnelling Association. We have representatives on the executive board and the editorial board of the Tunel journal. Following our silver sponsorship of the international conference Underground Construction Prague 2023, we became their gold partners this year.

To conclude, looking back at the previous ten years, I do not get the greatest joy only from completed designs, structures, or won contracts, but mainly from the opportunity to cooperate with the people who have also decided to walk this path. I would like to thank all my colleagues for their expertise, commitment, and mutual trust, our clients for the opportunity, and our partners for co-operation. I believe that it is precisely the combination of the unification of experience, the courage to search for new solutions, and the respect towards others will even further be the backbone of all that we create together in the SAGASTA company.

TEP VELKÉ MEZIŘÍČÍ – KŘÍŽANOV, INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝ PRŮZKUM PROJEKTOVANÉHO TUNELU ŽIDŮV RYBNÍK

VELKÉ MEZIŘÍČÍ – KŘÍŽANOV RAIL LINE, ENGINEERING GEOLOGICAL INVESTIGATION OF THE PROPOSED ŽIDŮV RYBNÍK TUNNEL

JAKUB ONDRÁČEK

ABSTRAKT

Tento článek popisuje základní informace týkající se předběžného inženýrskogeologického průzkumu plánovaného tunelu Židův rybník, který se měl stát součástí nového bezúvratového spojení na železniční trase Velké Meziříčí – Křižanov – Vlkov. V rámci stavby vysokorychlostní trati RS 1 z Prahy do Brna, v úseku Velká Bíteš – Brno (Vysočina I) bylo zadáno prověření možnosti využití vysokorychlostní trati pro provoz přímých osobních vlaků Velké Meziříčí – Brno, včetně napojení obchvatem u Velké Bíteše. V rámci technicko-ekonomického posouzení je tak nutno pro vozbu těchto vlaků navrhnout nové bezúvratové spojení, které umožní přímou jízdu směr Brno bez zajiždění do Křižanova. Na základě předběžného inženýrskogeologického průzkumu došlo k ekonomickému a technickému posouzení výstavby tunelu a porovnání varianty tunel vs. zářez, a také k optimalizaci celé trasy nového bezúvratového spojení. Ověření inženýrskogeologických a hydrogeologických poměrů zájmového území bylo provedeno s využitím průzkumných vrtů a geofyzikálního průzkumu (multielektroodová metoda ERT a mělká refrakční seismika MRS).

ABSTRACT

This paper presents the basic information related to the preliminary ground investigation of the proposed Židův Rybník Tunnel, which was intended to form part of a new direct rail connection on the Velké Meziříčí – Křižanov – Vlkov railway line. As part of the RS 1 high-speed rail project between Prague and Brno, specifically within the Velká Bíteš – Brno (Vysočina I) section, an assessment was commissioned to determine the feasibility of using the high-speed railway for direct passenger train services between Velké Meziříčí and Brno, including a bypass connection near Velká Bíteš. Within the framework of the technical and economic assessment, it was therefore necessary to design a new direct connection that would enable trains to travel directly towards Brno without reversing or detouring through Křižanov. Based on the preliminary ground investigation, an economic and technical evaluation of tunnel construction was carried out, including a comparison of the tunnel and open-cut alternatives, as well as optimization of the entire alignment of the new direct connection. Verification of the ground and hydrogeological conditions within the area of interest was performed using exploratory boreholes and geophysical surveys, including Electrical Resistivity Tomography (ERT) and Multi-channel Refraction Seismics (MRS).

ZÁKLADNÍ ÚDAJE O PROJEKTU

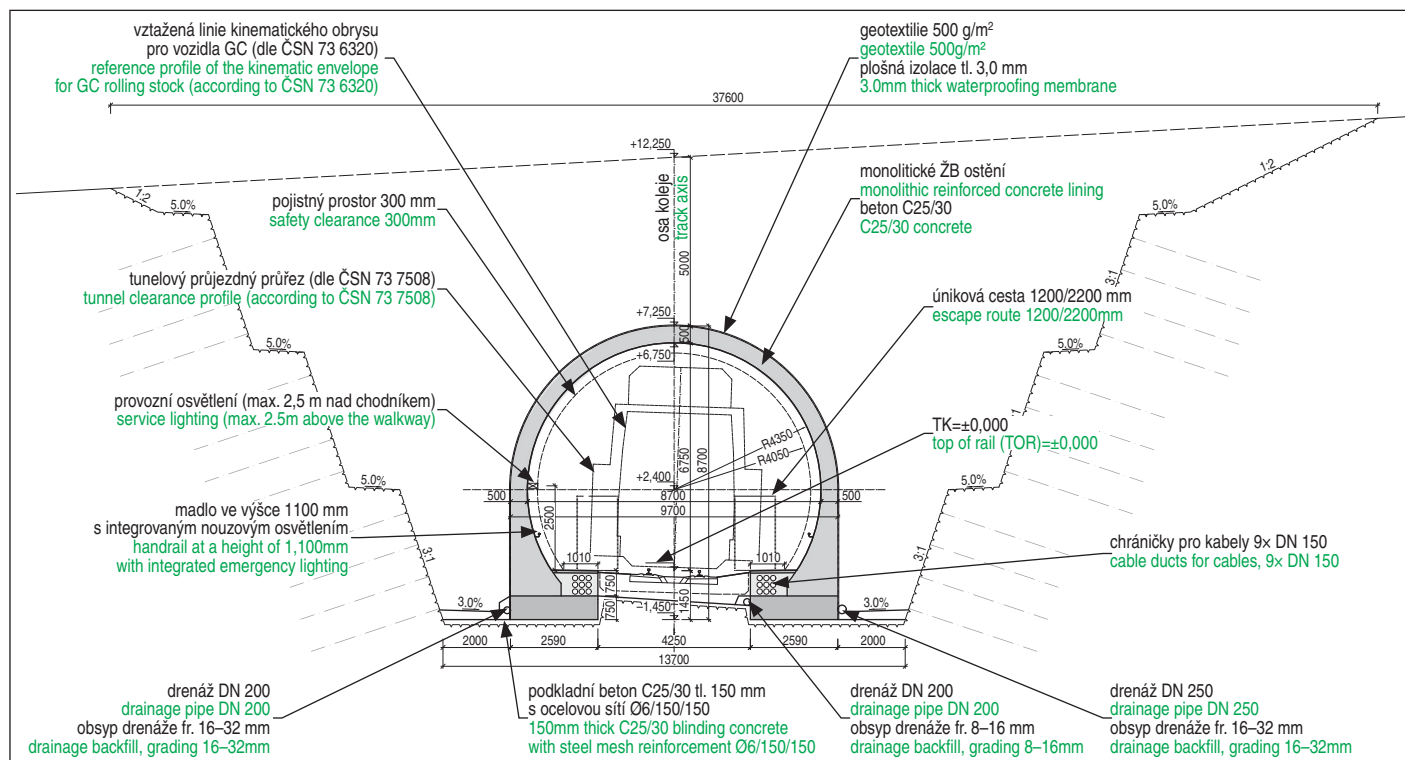
Tunel Židův rybník je plánován jako součást nového bezúvratového spojení na železniční trase Velké Meziříčí – Křižanov – Vlkov (obr. 1). Předběžný inženýrskogeologický průzkum zamýšleného tunelu byl proveden na jaře roku 2025 na základě projektu prací

BASIC PROJECT INFORMATION

The Židův Rybník Tunnel is planned as part of a new direct rail connection on the Velké Meziříčí – Křižanov – Vlkov railway line (Fig. 1). The preliminary ground investigation of the proposed tunnel was carried out in the spring of 2025 on the basis of an investigation



Obr. 1 Situace širších vztahů
Fig. 1 General location map



Obr. 2 Vzorový příčný řez zamýšleného tunelu Židův Rybník

Fig. 2 Typical cross-section of the proposed Židův Rybník tunnel

vypracovaného společností SUDOP PRAHA a.s., objednatelem projektu byla Správa železnic s.o., Stavební správa vysokorychlostních tratí. V současné době je projekt ve stupni dokumentace pro povolení záměru.

Díky tomuto novému spojení by mělo dojít k přímému využití vlakových spojů bez zajištění do Křižanova a rychlejšímu propojení dané oblasti s Brnem. Vzhledem k výškovému řešení stávajících navazujících úseků a geomorfologii dotčeného území bezúvratového spojení se jevil vhodný návrh jednokolejného hloubeného tunelu, nového mostního objektu, zářezů a náspů. Projekt tunelu počítal s minimální délkou 275 m a maximální délkou 350 m, se stoupáním 14,6 ‰ a rychlostí 100 km/h. Celková délka tunelu by závisela na vybudování zářezu a sjezdu k portálu na základě požárního bezpečnostního řešení. V aktuálním výškovém řešení spojky je niveleta vedena v hloubce cca 10 m pod úroveň terénu, což by znamenalo nadloží přibližně 6 m. Tunel byl proto koncipovaný jako hloubený

programme prepared by SUDOP PRAHA a.s. The project was commissioned by Správa železnic, State Organisation, High-Speed Rail Construction Administration. At present, the project is at the Project Development Permit Documentation stage.

The new connection is intended to enable direct train services without routing through Křižanov, thereby providing faster connections between the area and Brno. Considering the vertical alignment of the existing connecting railway sections and the geomorphological conditions of the affected area, a solution comprising a single-track cut-and-cover tunnel, a new bridge structure, cuttings, and embankments appeared to be appropriate.

The tunnel design envisaged a minimum length of 275m and a maximum length of 350m, with a gradient of 14.6‰ and a design speed of 100km/h. The final tunnel length would depend on the fire safety design requirements for the portal excavation cut and service road access arrangements.

In the current vertical alignment of the connection, the track level is approximately 10m below the existing ground surface, resulting in an overburden of about 6m. Consequently, the tunnel was conceived as a cut-and-cover structure constructed in an open excavation supported by soil nailing, with a monolithic reinforced-concrete arch lining (Fig. 2).

As part of the site investigation program, five cored boreholes were drilled, including one hydrogeological monitoring borehole permanently equipped for long-term groundwater level observations. In addition, geophysical investigations along the tunnel alignment were carried out using ERT and MRS methods.

GEOGRAPHICAL AND GEOMORPHOLOGICAL CONDITIONS

The proposed direct rail connection will traverse undulating terrain characterized by gentle



Obr. 3 Umístění jihozápadního portálu

Fig. 3 Location of the south-western portal

v otevřeném výkopu zajištěném hřebíkováním s monolitickou železobetonovou klenbou (obr. 2).

V rámci průzkumných prací bylo provedeno pět jádrových vrtů, včetně jednoho trvale vystrojeného hydrogeologického vrtu pro dlouhodobé sledování hladiny podzemní vody, v trase tunelu byl rovněž proveden geofyzikální průzkum metodami ERT a MRS.

GEOGRAFICKÉ A GEOMORFOLOGICKÉ POMĚRY

Bezúvratová spojka bude procházet ve zvlněném terénu, s mírným severovýchodním a strmějšími jihozápadními svahy. Průměrná nadmořská výška je 550 m n. m. Trasa nové spojky nejprve překonává údolí, kde dojde k oddělení od stávající trati číslo 257 Studenec–Křižanov, přičemž lesní terén mírně klesá z nadmořské výšky 547 m n. m. směrem k severovýchodu do nejnižší položeného místa v oblasti bezejmenného potoka (540 m n. m.). Údolí je tvořeno loukami, mokřinami s občasnými výchozy skalních hornin. Poté se reliéf zvedá po jihozápadních svazích, kde je umístěn portál tunelu (obr. 3). K vyústění tunelu by došlo přibližně po 350 m severovýchodním směrem v zářezu stávající železniční trati číslo 250 Křižanov–Vlkov (obr. 4).



Obr. 4 Umístění severovýchodního portálu
Fig. 4 Location of the north-eastern portal

GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY

Předpokládané geologické a hydrogeologické podmínky

Z regionálně geologického hlediska náleží zájmové území do Českého masivu budovaného horninami svrchního proterozoika a spodního paleozoika spadajícími do moldanubické oblasti. V trase stavby se vyskytují metamorfované horniny tvořené pararulami až migmatity a ortorulami až migmatity gföhlské skupiny. Gföhlská jednotka je strukturně nejvyšší jednotkou, vyznačuje se velkou litologickou heterogenitou. S popisovanými metamorfity bývají často sdružena menší tělesa přeměněných ultrabazických hornin plášťového charakteru, tvořená peridotity, eklogity a skarny. Stavba této jednotky na východním okraji moldanubika je již spjata s jeho nasouváním na brunovistulické předpolí během spodního karbonu [1].

Metamorfity, které vytvářejí hydrogeologický masiv, mají intenzivní oběh podzemní vody v přípoверхové zóně rozvolnění a rozpukání hornin, zahrnující zvětralinový plášť. Tato zóna dosahuje zpravidla do hloubek prvních desítek metrů. Hladina podzemní vody v krystaliniku bývá volná a probíhá víceméně konformně s povrchem

northeastern slopes and steeper southwestern slopes. The average elevation of the area is approximately 550m above sea level. The alignment first crosses a valley where it branches off from the existing Railway Line No. 257 Studenec–Křižanov. The forested terrain gradually descends from an elevation of approximately 547m a.s.l. towards the northeast to the lowest point at an unnamed stream (approximately 540m a.s.l.). The valley consists of meadows and wetlands with occasional bedrock outcrops. The terrain then rises along the southwestern slopes, where the tunnel portal is located (Fig. 3).

The tunnel would emerge approximately 350m further to the northeast within a cut of the existing Railway Line No. 250 Křižanov–Vlkov (Fig. 4).

GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS

Anticipated Geological and Hydrogeological Conditions

From a regional geological perspective, the area of interest belongs to the Bohemian Massif, composed of Upper Proterozoic and Lower Paleozoic rocks of the Moldanubian Zone. Along the route, metamorphic rocks occur in the form of paragneisses to migmatites and orthogneisses to migmatites of the Gföhl Unit. The Gföhl Unit represents the structurally prevailing unit and is characterized by significant lithological heterogeneity. These metamorphic rocks are commonly associated with smaller bodies of metamorphosed mantle-derived ultrabasic rocks, including peridotites, eclogites, and skarns. The geological structure of this unit on the eastern margin of the Moldanubian Zone is related to its thrusting over the Brunovistulian foreland during the Lower Carboniferous period [1].

The metamorphic rocks constituting the hydrogeological massif exhibit intensive groundwater circulation within the near-surface zone of weathering and rock fracturing, including the weathered mantle. This zone typically extends to depths of several tens of metres. Groundwater in crystalline rocks generally occurs under unconfined conditions and follows the topography of the terrain. Crystalline rocks are characterized primarily by fracture permeability, which is supplemented by intergranular permeability only within the weathered zone. Permeability decreases with depth.

In general, groundwater occurrence within the near-surface zone depends on the character and thickness of the weathered material, terrain morphology, and precipitation. Groundwater occurrence in the deeper fractured zone depends mainly on the intensity of fracturing, the degree of fracture opening, and the nature of fracture infilling. Owing to the proposed vertical alignment, the planned railway infrastructure is expected to intersect deeper water-bearing zones of the crystalline rock mass at the tunnel location.

Geological and Hydrogeological Conditions Encountered During Investigation

Based on the investigation boreholes and petrographic analyses of rock samples collected during the investigation, the Židův Rybník Tunnel will be excavated predominantly within fine-grained sillimanite-biotite paragneisses exhibiting various degrees of weathering and strength.

The recovered rock samples are grey, light grey-white, and dark brown-black in colour. They possess a massive and compact fabric with a planar-parallel structure, granular-schistose to granular-banded texture, and lepidogranoblastic structure. The planar-parallel fabric (foliation) is defined by the preferred orientation of biotite

(terénu. Krystalinické horniny jsou charakteristické puklinovou propustností, která je pouze v pásmu zvětralin kombinovaná s propustností průlinovou. S hloubkou klesá propustnost horninového prostředí. Obecně závisí zvodnění přípovrchové zóny na charakteru zvětralin a jejich tloušťce, morfologii a množství srážek. Zvodnění hlubší rozpukané zóny závisí především na intenzitě rozpukání a rozevření puklin a charakteru jejich výplně. Stavba komunikace, vzhledem k navrženému řešení nivelety, pravděpodobně v místě tunelu zasáhne do zóny s hlubším zvodnělým prostředím krystalinika.

Skutečně zastížené geologické a hydrogeologické podmínky

Na základě provedených inženýrskogeologických vrtů a petrografických zkoušek hornin zastížených během průzkumu bude tunel Židův rybník procházet drobnozrnnými sillimanit-biotitickými pararulami různého stupně zvětrání a pevnosti. Odebrané vzorky hornin mají šedou, světle šedobílou a hnědočernou barvu. Jsou masivní a kompaktní stavby s plošně paralelní stavbou, se zrnito-šupinatou až zrnito-pláštěvnatou texturou a lepidogranoblastickou strukturou. Plošně paralelní stavba (foliace) je podmíněná přednostním uspořádáním šupinek biotitů, sillimanitu a průběhem křemen-živcového agregátu (leukokrání zóny). Folie je převážně rovinná, výjimečně drobně vráskovaná. Plochy metamorfní foliace jsou zdrsnělé, více či méně zvlněné, potažené téměř souvislými povlaky oxidů-hydroxidů Fe a Mn. Pouze při mikroskopickém studiu byla u odebraných vzorků patrná slabá mikrodeformační struktura, zapříčiněná tektonoklasickými tlakovými deformacemi.

Povrchovou vrstvu zájmové oblasti tvoří humózní a organické zeminy charakteru hlinitého písku třídy S4 (SM) o mocnosti do 0,2 m. Kvartérní sedimenty nebyly zastíženy. Vrstva eluviálních zcela

and sillimanite flakes and by the arrangement of quartz-feldspar aggregates (leucocratic bands). The foliation is generally planar and only exceptionally exhibits minor folding. Foliation surfaces are rough, more or less undulating, and coated with nearly continuous iron and manganese oxide-hydroxide films. Microscopically, the samples display only weak micro-deformational structures resulting from tectonoclastic compressional deformation.

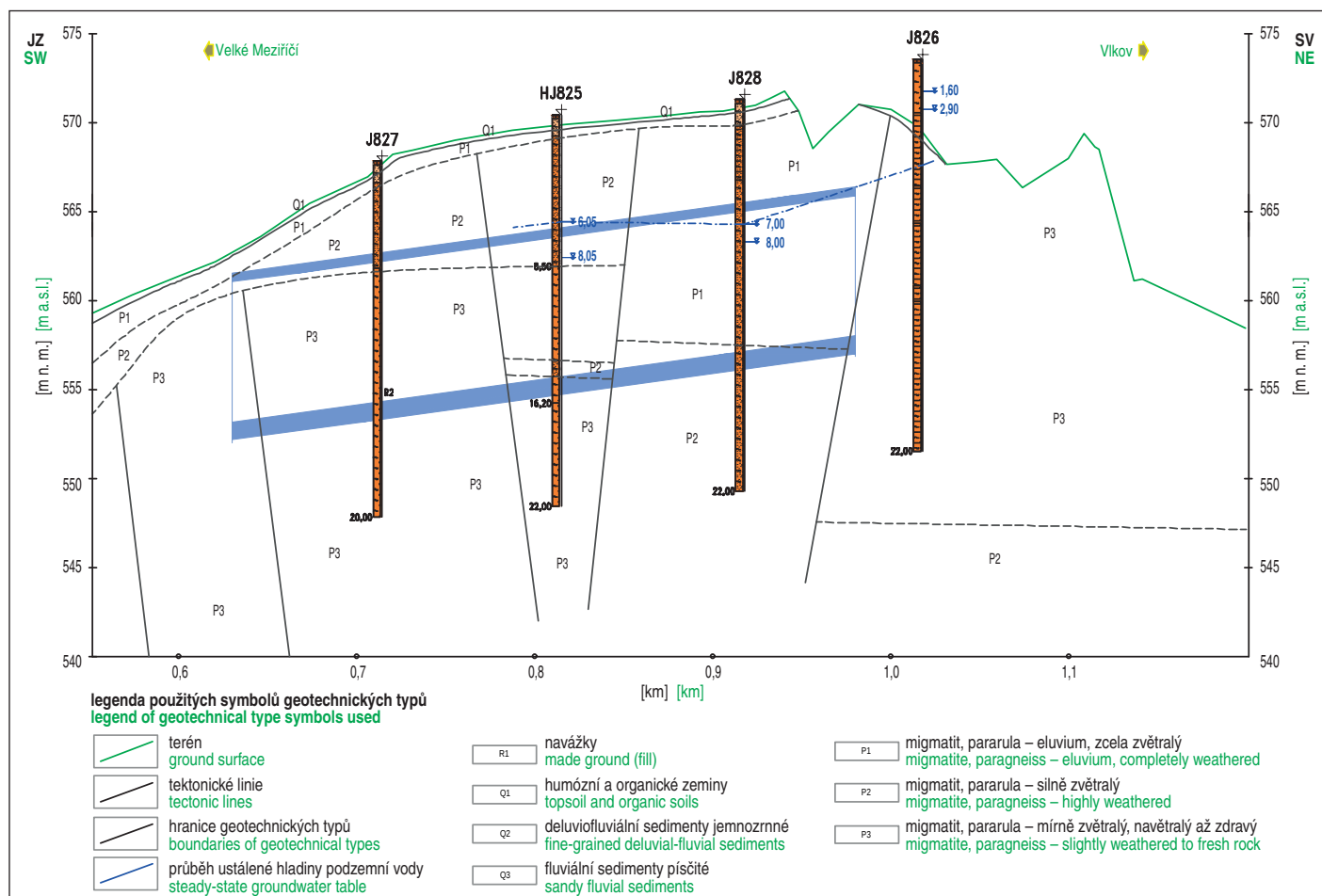
The surface layer of the investigated area consists of humic and organic soils classified as clayey sand S4 (SM) with a thickness of up to 0.2m. No Quaternary sediments were encountered. A layer of completely weathered eluvial rock material, represented by clayey and silty sands of classes S4 (SM) and S5 (SC), was identified to depths of approximately 1.5m below ground level.

Borehole J828 encountered very weak rock of strength class R5 down to a depth of 13.8m below ground level. Between depths of 13.8m and 22.0m, rocks of strength class R4 were encountered. This section corresponds to a tectonic fault zone, which was also confirmed by the geophysical investigations.

In the remaining boreholes, slightly weathered paragneisses of strength class R4 were encountered below the eluvial zone to depths of approximately 8.5m below ground level, underlain by fresh to slightly weathered paragneisses of strength classes R3 and R2 extending to depths of 22m below ground level.

Based on groundwater samples collected from borehole HJ825, the groundwater environment was classified as non-aggressive to concrete, not reaching even aggressivity class XA1 [2]. However, with respect to steel corrosion, the groundwater falls into Class IV (very high water aggressivity) [3].

The southwestern portal of the proposed tunnel was located at chainage 0.630km of the new alignment. At this location, the tunnel



Obr. 5 Podélný geologický řez
 Fig. 5 Longitudinal geological section

zvětralých skalních hornin charakteru hlinitých a jílovitých písků třídy S4 (SM) a S5 (SC) byla ověřena do hloubky cca 1,5 m pod terénem. Vrtem J828 byly zjištěny horniny velmi nízkého stupně pevnosti (třídy R5) až do hloubky 13,8 m pod terénem. Dále v tomto vrtu byly až do hloubky 22 m pod terénem zastiheny horniny třídy pevnosti R4. Zde se jedná o tektonickou poruchovou zónu, která byla potvrzena i geofyzikálním průzkumem. V ostatních vrtech byly pod vrstvou eluvií zachyceny mírně zvětřalé pararuly třídy pevnosti R4 jen do hloubek 8,5 m pod terénem a následně zdravé až navětralé pararuly třídy pevnosti R3 a R2 do hloubky 22 m pod terénem. Zvodnělé horninové prostředí na základě odběru vzorku vody z vrtu HJ825 spadá do neagresivního chemického prostředí na beton a nedosahuje ani stupně agresivity XA1 [2] a z hlediska agresivity na ocel spadá do stupně IV (velmi vysoká agresivita vody) [3].

Jižozápadní portál navrhovaného tunelu byl projektem umístěn do staničení km 0,630 nové trasy, zde by procházel zdravými pararulami (geotyp P3) třídy pevnosti R2 (obr. 5), které v přístropí tunelu přecházejí do mírně zvětřalých pararul pevnosti R4 (geotyp P2). Tento geologický sled hornin (obr. 6) pokračuje až do staničení km 0,870, kde dochází k náhlému snížení pevnosti, které je dáno poruchovou zónou. Od staničení km 0,870 do 0,930 by hloubení tunelu procházelo silně zvětřalými pararulami třídy pevnosti R5 (geotyp P1). Ve staničení km 0,930 bylo navrženo vyústění tunelu a napojení na stávající železniční trať Křižanov–Vlkov. V těchto místech končí



Obr. 6 Jádru vrtu J827 zastihující pararuly v různém stupni porušení
Fig. 6 Core from borehole J827 showing paragneisses with varying degrees of weathering and disturbance

poruchová zóna tvořená horninami velmi nízké pevnosti a horninový masiv je znovu tvořen pararulami zdravými až navětralými třídy pevnosti R3 a R2 (geotyp P3). Postup hloubení tunelu bude rovněž ovlivňovat hladina podzemní vody, která kolísá v hloubkách 1,8 až 6,0 m pod terénem, tedy přibližně na úrovni předpokládaného stropu tunelu.

TEKTONIKA

V lokalitě se nenachází výraznější zlomové struktury. Celkově v regionu převládá tektonika směru SSV–JJZ (např. vlčatínský zlom a velkomeziříčský zlom). Z výsledku průzkumu je zřejmé, že geologie lokality je spíše homogenní s různým zvětřáním hornin. Během geofyzikálního průzkumu byly z tvarů izoseist seismického řezu a z výsledků geoelektrického řezu interpretovány možné tektonické poruchy. Jedná se o místa ve staničení cca km 0,570, km 0,330, km 0,700, km 0,790, km 0,830, km 0,890 a km 0,970. Poslední možná porucha je interpretovaná pouze z tvaru izotach v seismickém řezu, protože v těchto místech jsou data realizovaného geoelektrického řezu ovlivněna vodičem telematiky ČD. Geofyzikou

would pass through sound paragneisses (Geotype P3) of strength class R2 (Fig. 5), transitioning near the tunnel crown into slightly weathered paragneisses of strength class R4 (Geotype P2).

This geological sequence (Fig. 6) continues up to chainage 0.870km, where a sudden reduction in rock strength occurs due to the presence of the fault zone. Between chainages 0.870km and 0.930km, the tunnel excavation would pass through heavily weathered paragneisses of strength class R5 (Geotype P1).

The proposed tunnel portal and connection to the existing Křižanov–Vlkov railway line were located at chainage 0.930km. At this location, the fault zone composed of very weak rock terminates, and the rock mass again consists of fresh to slightly weathered paragneisses of strength classes R3 and R2 (Geotype P3).

Tunnel excavation would also be significantly influenced by groundwater conditions. The groundwater table fluctuates between depths of approximately 1.8m and 6.0m below ground level, corresponding roughly to the anticipated level of the tunnel crown.

TECTONICS

No major fault structures have been identified within the site area. On a regional scale, the prevailing tectonic trend is NNE–SSW, represented by structures such as the Vlčatín Fault and the Velké Meziříčí Fault.

The investigation results indicate that the geology of the site is relatively homogeneous, with variability primarily related to the degree of rock weathering. During the geophysical survey, potential tectonic disturbances were interpreted from the configuration of seismic isoseism contours and the results of the geoelectrical profiles. These potential fault zones were identified at approximately chainages 0.570km, 0.330km, 0.700km, 0.790km, 0.830km, 0.890km, and 0.970km.

The last of these interpreted structures was identified solely from the pattern of velocity contours in the seismic profile because the geo-electrical data in this area were affected by a Czech Railways (ČD) telecommunication cable. In the exploratory boreholes, the tectonic discontinuities inferred from the geophysical survey consistently manifested themselves as zones of deeper bedrock weathering.

The Joint Roughness Coefficient (JRC) is a parameter describing the roughness of rock discontinuities and is essential for evaluating various engineering geological aspects of rock mass behaviour.

The following discontinuity systems were documented: Discontinuity system corresponding to the orientation of foliation planes (dip 20°–35°). These surfaces are accompanied by limonite coatings and exhibit rough, undulating surfaces with JRC = 4–6, locally 6–8. Discontinuity system dipping 40°–60°, locally coated with limonite and occasionally chlorite. These discontinuities are generally rough, undulating, and open by 0.5 to 2.5mm, with JRC = 4–6. Subvertical discontinuity system dipping 70°–85°. These fractures are frequently healed by quartz or calcite veins up to 10mm thick, although locally they remain open by 0.5 to 2.5mm. The discontinuity surfaces are rough and undulating, locally planar, with JRC = 4–6 and locally 8–10.

Where diamond core drilling was employed, the Rock Quality Designation (RQD) index was evaluated from the recovered drill core.

From chainage 0.000km to approximately 0.360km, the rock quality is predominantly fair (RQD 50–75%) to very good (RQD 90–100%). The rock mass consists mainly of paragneisses exhibiting varying degrees of folding, and the quality of the rock mass is strongly dependent on the intensity of this folding.

From approximately 0.360km onward, the rock mass transitions into paragneisses interbedded with layers of migmatite. In this section, the RQD values are significantly lower, with rock quality

předpokládané tektonické poruchy se v průzkumných vrtech projeví vždy jako oblasti s hlubším zvětráním skalního podkladu.

JRC (Joint Roughness Coefficient) je koeficient drsnosti diskontinuit. Jedná se o parametr, který je klíčový pro hodnocení různých inženýrskogeologických aspektů chování horninového masivu. Zdokumentovány byly následující systémy puklin: Systém diskontinuit shodný se směrem a sklonem foliačních ploch (sklon 20° až 35°), tyto plochy jsou doprovázeny povlaky limonitu s drsnou a zvlněnou plochou, JRC = 4–6, místy 6–8. Systém diskontinuit ve sklonu 40° až 60°, místy s povlaky limonitu, ojediněle s povlaky chloritu, převážně se jedná o pukliny drsné, zvlněné a otevřené 0,5 až 2,5 mm, JRC = 4–6. Systém subvertikálních diskontinuit ve sklonu 70° až 85°, jde o pukliny často vyhojené křemenem či kalcitem o mocnosti až 10 mm, místy otevřené 0,5 až 2,5 mm, pukliny jsou drsné a zvlněné, místy rovinné, JRC = 4–6, místy 8–10.

Tam, kde bylo během průzkumných prací použito jádrového vrtní diamantovými korunkami, byl na vrtném jádru hodnocen index kvality horniny RQD (Rock Quality Designation). Od staničení km 0,000 cca do 0,360 je kvalita horniny převážně přijatelná (RQD 50–75 %) až velmi dobrá (RQD 90–100 %). Skalní masiv je zde zastoupen pararulami, které jsou především provrášněné, a tak kvalita skalního masivu silně závisí na stupni jejich provrášnění. Zhruba od staničení 0,360 přechází skalní masiv do pararul, které se střídají s polohami migmatitu. Index kvality jádra je zde podstatně nižší, zastižena byla hornina především velmi špatná (RQD 0–25 %) až špatná (RQD 25–50 %), místy přijatelná (RQD 50–75 %) až dobrá (RQD 75–90 %). Z výsledků geofyzikálního průzkumu jsou zde patrně zastiženy předpokládané tektonické linie, které snižují kvalitu skalního masivu. O celé trase nelze říci, že by s rostoucí hloubkou rostla i kvalita skalního masivu, celé studované území je silně poznamenáno zvětráním skalního masivu, jež negativně ovlivňuje kvalitu horninového podloží.

GEOFYZIKÁLNÍ MĚŘENÍ

Geoelektrický průzkum metodou elektrické odporové tomografie

Elektrická odporová tomografie (ERT) je kombinací odporového profilování a odporového sondování. Měřením se získají informace o rozložení měrných odporů jak ve vertikálním, tak i v horizontálním směru. Metodou ERT byl změřen profil GF1 o délce 600 m (obr. 7). Profil byl měřen 16 geoelektrickými kabely (tzv. sekcemi) po osmi elektrodách a automatickou geoelektrickou aparaturou ARES II. Rozstup mezi elektrodami byl zvolen 5 m. Naměřená data byla zpracována pomocí softwaru Res2DInv a v softwaru Surfer byl vykreslen vertikální geoelektrický řez měrných elektrických odporů. Výsledky měření představují obraz geologického prostředí odvozeného z odporových vlastností hornin.

Měrné elektrické odpory, které zde byly zaznamenány, jsou nízké až střední a pohybují se v rozmezí od prvních desítek $\Omega \cdot m$ do cca 1 000 $\Omega \cdot m$. Geoelektrický řez od staničení km 0,504 do staničení cca km 0,830 je značně heterogenní napříč hloubkovým rozsahem. Při povrchu v úseku staničení cca km 0,690 – km 0,790 je patrná výrazná relativně vysokoodporová poloha s hodnotami měrných el. odporů od 500 $\Omega \cdot m$ do 1 000 $\Omega \cdot m$. Jedná se zřejmě o polohu mírně zvětralých až zdravých pararul, která je uložena mělce pod povrchem, a která byla posléze potvrzena vrtným průzkumem. Od staničení cca km 0,830 do staničení km 0,930 je patrná nízkoodporová poloha napříč celým řezem do hloubky, která je zřejmě tvořena silně až zcela zvětralými pararulami, jež jsou od hloubky 8 m zvodnělé. Od staničení cca km 0,930 do konce profilu byla naměřená data silně ovlivněna vlivem vedení vodiče telematiky Českých drah a nelze je interpretovat.

predominantly classified as very poor (RQD 0–25%) to poor (RQD 25–50%), and only locally as fair (RQD 50–75%) to good (RQD 75–90%).

The geophysical survey results suggest that several of the interpreted tectonic lineaments that occur in this section contribute to the reduced quality of the rock mass. Across the entire tunnel alignment, it cannot be concluded that rock mass quality improves with increasing depth. Rather, the entire investigated area is significantly affected by rock weathering, which has a detrimental impact on the quality of the rock foundation.

GEOPHYSICAL INVESTIGATIONS

Geoelectrical Survey Using Electrical Resistivity Tomography

Electrical Resistivity Tomography (ERT) combines the principles of resistivity profiling and resistivity sounding. The method provides information on the distribution of electrical resistivity both vertically and horizontally. An ERT survey was performed along profile GF1 with a total length of 600m (Fig. 7).

The survey was carried out using 16 geoelectrical cables (sections), each comprising eight electrodes, together with an ARES II automatic resistivity system. The electrode spacing was set at 5 m. The measured data were processed using Res2DInv software, while the vertical geoelectrical section of apparent electrical resistivity was plotted using Surfer software. The results provide an image of the geological environment derived from the electrical resistivity properties of the subsurface materials.

The measured resistivity values were generally low to moderate, ranging from several tens of Ωm to approximately 1,000 Ωm .

The geoelectrical section between chainages 0.504km and 0.830km exhibits considerable heterogeneity throughout the investigated depth range. Near the ground surface between approximately 0.690km and 0.790km, a prominent relatively high-resistivity zone is visible, characterized by resistivity values ranging from 500 Ωm to 1,000 Ωm . This zone most likely represents slightly weathered to fresh paragneiss occurring at shallow depth beneath the surface, which was subsequently confirmed by borehole investigations.

Between approximately 0.830km and 0.930km, a low-resistivity zone extending through the entire investigated depth range is evident. This zone is interpreted as strongly to completely weathered paragneiss, which becomes groundwater-saturated below a depth of approximately 8m.

From approximately 0.930km to the end of the profile, the measured data were significantly affected by the influence of the Czech Railways telecommunication cable and could therefore not be reliably interpreted.

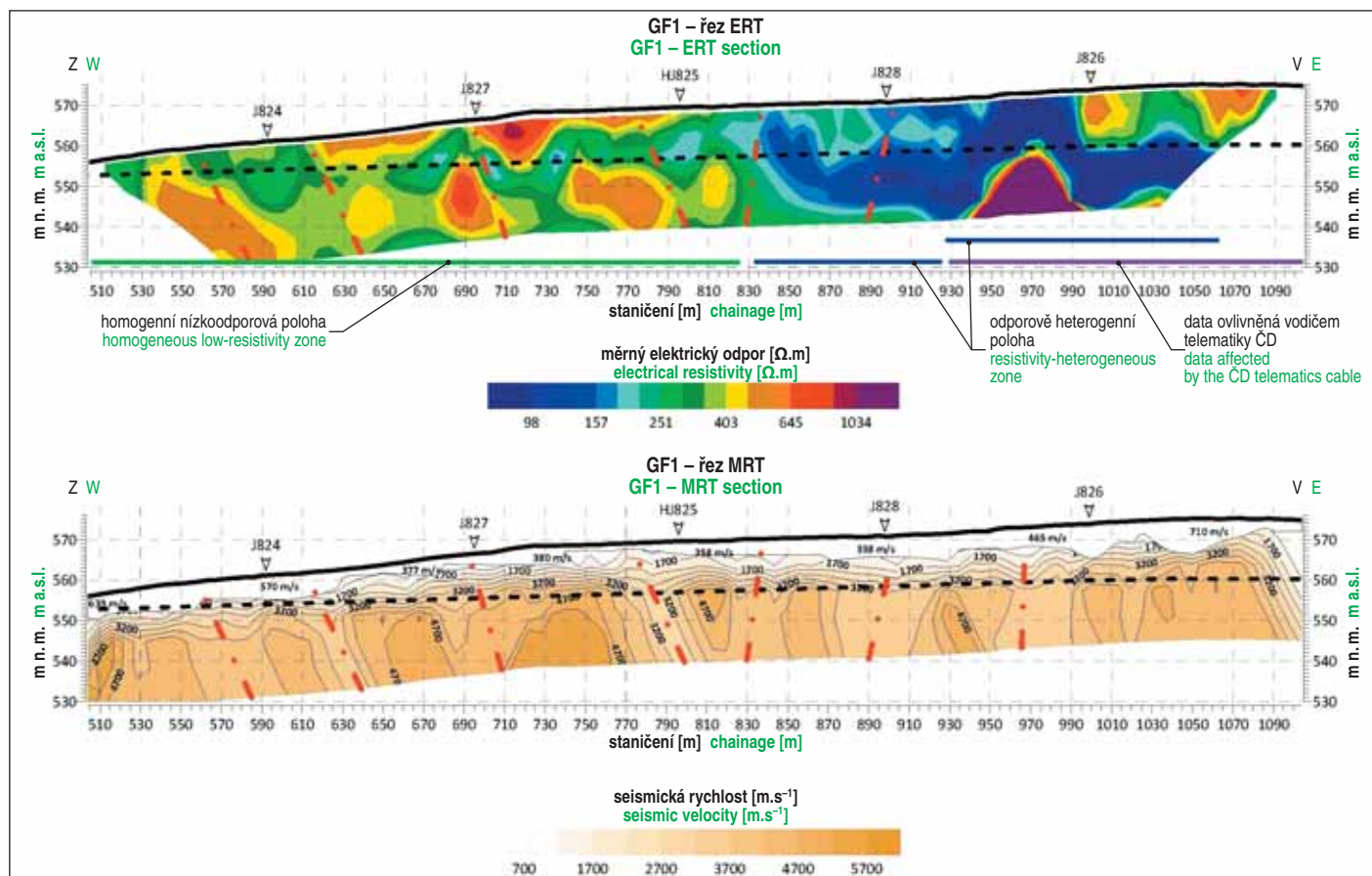
Seismic Investigation Using Multi-Channel Refraction Seismics

The Multi-channel Refraction Seismics (MRS) method is well suited for assessing the condition of the rock mass and its overburden. The method is based on recording the travel times of induced seismic waves at distant measurement points.

An MRS survey was carried out along profile GF1, again with a total length of 600m (Fig. 7). The survey was performed using a Geometrics Geode seismic system and two multi-core seismic cables equipped with 48 geophones. The spacing between geophones was 5m. Seismic energy was generated by repeated impacts of a seismic hammer on a steel plate at 20m intervals along the profile.

The seismic section revealed a near-surface layer characterized by relatively low seismic velocities ranging from approximately 340m/s to 710m/s. This layer corresponds to strongly weathered paragneiss.

Beneath this layer, a continuous seismic interface was identified. This interface generally represents the top of the underlying rock



Obr. 7 Geoelektrický řez ERT a seismický řez MRS
Fig. 7 ERT geoelectrical section and MRS seismic section

Seismický průzkum metodou mělké refrakční seismiky

Metoda MRS je vhodná pro sledování stavu horninového masívu a jeho pokryvu. Metoda je založena na registraci doby příchodu vybuzeného seismického signálu ve vzdálených bodech. Metodou MRS byl změřen profil GF1 o délce 600 m (obr. 7). Mělká refrakční seismika byla provedena seismickou aparaturou Geode firmy Geometrics a dvěma mnohažilnými seismickými kabely, na kterých bylo instalováno 48 geofonů. Vzdálenost mezi geofony byla 5 m. Seismická vlna byla buzena pomocí úderů seismického kladiva do kovové podložky s krokem 20 m po profilu.

Na seismickém řezu byla od povrchu do hloubky naměřena vrstva snížených seismických rychlostí cca 340 m/s až 710 m/s. Tato vrstva odpovídá silně zvětralé paraluře. Pod touto vrstvou byl vykreslen souvislý reliéf seismického rozhraní. Toto rozhraní obvykle charakterizuje průběh podložních hornin s nižším stupněm zvětrání. Na seismickém řezu profilu GF1 se seismické rozhraní projevilo v hloubkách od 1,2 m do 8,9 m pod povrchem. Pod seismickým rozhraním dále do hloubky je vykresleno horninové prostředí, které je charakterizované izotachami, které jsou obrazem pevnosti hornin a míry jejich porušení. V zásadě platí, že čím vyšší rychlosti, tím pevnější horniny. V celé délce profilu v Z–V směru jsou patrné subhorizontálně vedené izoseisty s hodnotami seismických rychlostí od cca 1 000 m/s do cca 3 200 m/s do hloubky cca 13 až 16 m. Může se jednat o paraluře v různém stupni porušení nebo zvětrání – od slabě porušených nebo navětralých až po slabě zvětralé nebo zdravé. Dále do hloubky izoseisty vytváří polouzavřené až uzavřené struktury s hodnotami seismických rychlostí do cca 4 700 m/s místy až 5 200 m/s. Jedná se o rychlosti, které obvykle charakterizují slabě zvětralé až zdravé horniny, v tomto případě slabě zvětralé až zdravé migmatity. Z tvaru izotach seismického řezu a z výsledků geoelektrického řezu byly interpretovány možné tektonické poruchy. Od staničení cca km 0,930

mass with a lower degree of weathering. Along profile GF1, the seismic interface occurs at depths ranging from 1.2m to 8.9m below ground level.

Below the seismic interface, the deeper rock environment is represented by velocity contours (isovelocities), which reflect rock strength and the degree of rock mass disturbance. In principle, higher seismic velocities correspond to stronger and less disturbed rock.

Throughout the profile from west to east, subhorizontal seismic velocity contours were observed with values ranging from approximately 1,000m/s to 3,200m/s at depths of up to approximately 13–16m below ground level. These velocities are interpreted as paragneisses exhibiting varying degrees of weathering and disturbance, ranging from slightly disturbed or slightly weathered rock to moderately weathered material.

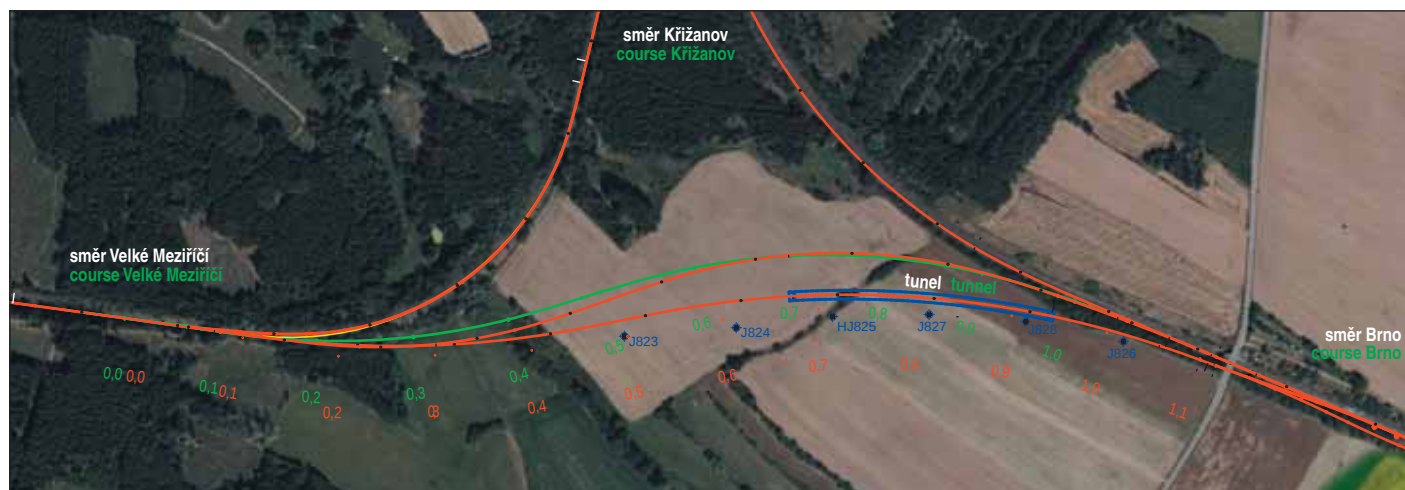
At greater depths, the velocity contours form semi-closed to closed structures with seismic velocities reaching approximately 4,700m/s and locally up to 5,200m/s. Such velocities are typically characteristic of slightly weathered to fresh rock, interpreted in this case as slightly weathered to fresh migmatites.

Potential tectonic discontinuities were interpreted based on the geometry of the seismic velocity contours and in conjunction with the results of the geoelectrical survey.

As in the ERT investigation, data recorded from approximately 0.930km to the end of the profile were significantly affected by interference from the Czech Railways telecommunication cable and could not be meaningfully interpreted.

ROUTE OPTIMIZATION

Based on the recommendations of the ground investigation, the client required an economic and technical assessment of tunnel construction, a comparison of the tunnel underground excavation



Obr. 8 Situace navrhovaných tras

Fig. 8 Layout of the proposed route alternatives

do konce profilu byla naměřená data silně ovlivněna vlivem vedení vodiče telematiky Českých drah a nelze je interpretovat.

OPTIMALIZACE TRASY

Na základě doporučení inženýrskogeologického průzkumu požadoval objednatel projektu ekonomické a technické posouzení výstavby tunelu, porovnání varianty tunel vs. zářez a návrh optimalizace celé trasy nového bezúvratového spojení. Hloubení tunelu by probíhalo převážně ve skalních horninách pevnostech R4 až R2, s trhacími pracemi pro přibližně 70 % rozpojovaných hornin. Z technického řešení objektu se jevílo jako problematické nízké nadloží tunelu a poruchová zóna s velmi nízkou pevností (horniny s třídou pevnosti R5). Při ekonomickém porovnání dospěli projektanti k rozhodnutí pro vybudování zářezu, který se jeví jako méně nákladný na provoz a údržbu, a proto přepracovali projekt, který počítá se směrovým posunutím nivelety trati přibližně 35 m severním směrem po svahu; snížil se i rozdíl výšky mezi niveletou koleje a terénem průměrně o 2 až 3 m. Návrhová rychlost se zvýšila na 110 km/h. Nová trasa železniční tratě, počítající se zářezem, je zakreslena zelenou linkou na obr. 8.

ZÁVĚR

Inženýrskogeologický průzkum pro zamýšlený tunel Židův rybník se ukázal jako klíčový podklad pro návrh, optimalizaci i ekonomické hodnocení stavebního projektu, poskytl důležité informace o složení, vlastnostech a chování horninového prostředí. Na základě komplexního vyhodnocení inženýrskogeologických podmínek, technických rizik (nízké nadloží, poruchová zóna, podzemní voda) a ekonomického porovnání variant bylo rozhodnuto upustit od tunelového řešení a nahradit jej variantou otevřeného zářezu s trasovým posunem. Toto řešení se ukázalo jako technicky jednodušší a ekonomicky výhodnější.

Mgr. JAKUB ONDRÁČEK, jakub.ondracek@geotechnika.cz,
Geotechnika a.s.

Recenzoval / Reviewed by: doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.

versus open-cut excavation alternatives, and a proposal for optimizing the alignment of the new direct rail connection.

Tunnel excavation would have been carried out predominantly in rock masses of strength classes R4 to R2, with drilling and blasting required for approximately 70% of the excavated material. From the technical point of view, the main concerns were the limited tunnel overburden and the presence of a fault zone containing very weak rock (strength class R5).

Following an economic comparison of the alternatives, the designers concluded that an open cut would be preferable, as it would result in lower operating and maintenance costs. Consequently, the design was revised, involving a horizontal shift of the rail alignment by approximately 35m northward along the hillside. At the same time, the difference in elevation between the track grade line and the existing ground surface was reduced by approximately 2 to 3m on average. The design speed was increased to 110km/h.

The revised railway alignment incorporating the open cut is shown by the green line in Fig. 8.

CONCLUSION

The engineering geological investigation of the proposed Židův Rybník Tunnel proved to be a key input for the design, optimization, and economic evaluation of the project. The investigation provided essential information regarding the composition, properties, and behaviour of the geological environment.

Based on a comprehensive evaluation of the engineering geological conditions, technical risks (including low overburden, the fault zone, and groundwater conditions), and the economic comparison of alternatives, it was decided to abandon the tunnel option and replace it with an open-cut solution incorporating a modified alignment.

This alternative proved to be both technically simpler and more economically advantageous than the originally proposed tunnel solution.

Mgr. JAKUB ONDRÁČEK, jakub.ondracek@geotechnika.cz,
Geotechnika a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] MÍSAŘ, Z. et al. *Geologie ČSSR I: Český masív*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1983. 333 s.
- [2] ČSN EN 206+A2 (732403). *Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021. 88 s.
- [3] ČSN 03 8375 (038375). *Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1987. 20 s.

VÝZKUMNÉ AKTIVITY V RÁMCI PRŮZKUMU HORNINOVÉHO MASIVU PRO HLUBINNÉ ÚLOŽIŠTĚ RADIOAKTIVNÍHO ODPADU

RESEARCH ACTIVITIES WITHIN THE INVESTIGATION OF THE ROCK MASS FOR A DEEP GEOLOGICAL REPOSITORY OF RADIOACTIVE WASTE

KAREL SOSNA, JIŘÍ ZÁRUBA

ABSTRAKT

Článek shrnuje dlouhodobé výzkumné aktivity společnosti SG Geotechnika a.s. zaměřené na charakterizaci horninového masivu a inženýrských bariér v souvislosti s přípravou hlubinného úložiště radioaktivního odpadu v České republice. Hlubinné úložiště je uvažováno v hloubce přibližně 500 m v prostředí krystalinických hornin a jeho bezpečnost je založena na kombinaci přirozených a inženýrských bariér; zejména horninového masivu, ocelových kontejnerů a bentonitového těsnění. Výzkum probíhá kontinuálně od 90. let 20. století a zahrnuje jak laboratorní experimenty, tak rozsáhlé terénní a in situ práce. Popsány jsou klíčové projekty zaměřené na hydrodynamické a migrační vlastnosti puklinových systémů, pórovitost a mechanické vlastnosti granitoidních hornin a na vliv tepelného namáhání horninového masivu. Významná pozornost je věnována experimentům realizovaným v podzemní laboratoři Josef, kde byly studovány teplotní, hydraulické, mechanické a chemické procesy (THMC coupling) související s ohřevem hornin a chováním bentonitu při teplotách do 95 °C. Další část výzkumu se soustředí na podzemní výzkumné pracoviště PVP Bukov, kde probíhala detailní geologická, geotechnická a hydrogeologická charakterizace horninového prostředí v hloubkách až 1200 m. Výsledky výzkumu přispívají k upřesnění parametrů horninového prostředí, k ověřování metodik průzkumu, monitoringu a k posouzení dlouhodobé bezpečnosti hlubinného ukládání radioaktivního odpadu v podmínkách České republiky.

ABSTRACT

The article summarizes the long-term research activities of SG Geotechnika a.s. focused on the characterization of the rock mass and engineered barriers in connection with the preparation of a deep geological repository for radioactive waste in the Czech Republic. The repository is envisaged at a depth of approximately 500m within crystalline rock formations, and its safety is based on a combination of natural and engineered barriers, particularly the rock mass, steel containers, and bentonite sealing. The research has been conducted continuously since the 1990s and includes both laboratory experiments and extensive field and in situ work. Key projects are described, focusing on the hydrodynamic and migration properties of fracture systems, porosity and mechanical properties of granitoid rocks, and the effects of thermal loading on the rock mass. Significant attention is given to experiments carried out in the Josef underground laboratory, where thermal, hydraulic, mechanical, and chemical processes (THMC coupling) associated with rock heating and bentonite behavior at temperatures up to 95°C were studied. Another part of the research is concentrated at the Bukov Underground Research Facility (URF Bukov), where detailed geological, geotechnical, and hydrogeological characterization of the rock environment was conducted at depths of up to 1200m. The research results contribute to refining the parameters of the rock environment, validating investigation and monitoring methodologies, and assessing the long-term safety of deep geological disposal of radioactive waste under the conditions of the Czech Republic.

ÚVOD

Hlubinné úložiště vysokoaktivních radioaktivních odpadů a vyhořelého jaderného paliva má sloužit k jejich bezpečnému uložení po dobu statisíců až milionu let, což je časový úsek o několik řádů delší, než je životnost jakéhokoliv dosud postaveného inženýrského díla. České úložiště bude budováno v hloubce 500 m pod povrchem v prostředí krystalinických hornin. Radioaktivní materiál bude uložen v ocelových kontejnerech a mezi horninou a kontejnerem bude těsnění z bobtnavého jílu – bentonitu. Vzhledem k tomu, že jaderné elektrárny Dukovany a Temelín vyprodukují během svého provozu zhruba 3500 t radioaktivního odpadu, bude podzemní část úložiště zaujímat plochu cca 4,4 km². Aktuálně se vyhořelé jaderné palivo skladuje v areálech obou jaderných elektráren v tzv. meziskladech, kde se chladí na teplotu menší než 100 °C (což je podmínka jeho umístění do podzemí). V České republice by se mělo úložiště zprovoznit v roce 2050. Doba jeho provozu se odhaduje na zhruba 100 let, následně bude postupně uzavíráno systémem zátek a vyplnění.

INTRODUCTION

A deep geological repository for high-level radioactive waste and spent nuclear fuel is intended to ensure their safe disposal over hundreds of thousands to millions of years time spans that exceed the lifetime of any engineering structure constructed to date by several orders of magnitude. The Czech repository is planned to be constructed at a depth of 500m below the surface in crystalline rock formations. The radioactive material will be stored in steel containers, and a seal made of swelling clay bentonite will be placed between the rock and the container.

Given that the Dukovany and Temelín nuclear power plants will produce approximately 3,500 tonnes of radioactive waste during their operation, the underground part of the repository will cover an area of about 4.4km². At present, spent nuclear fuel is stored at both nuclear power plants in interim storage facilities, where it is cooled to a temperature below 100°C (which is a requirement for its placement underground). In the Czech Republic, the repository is expected to become operational in 2050. Its operational lifetime

V současnosti probíhá výběr finální lokality pro bezpečné uložení radioaktivního odpadu. Mezi kritérii hodnocení jsou mimo jiné dostatečná velikost a malá proměnlivost horninového bloku, pomalé proudění podzemní vody a seismická stabilita. Výběr lokality postupuje z předchozích fází povrchových a geofyzikálních průzkumů k průzkumu vrtnému, včetně hydrogeologických prací a stanovení orientace hlavních napětí v masivu. Následně bude na finální lokalitě během stavby vyražena tzv. konfirmační laboratoř, kde budou ověřeny vlastnosti horninového masivu a systému inženýrských bariér, tj. kontejnerů a bentonitu.

Výzkumné aktivity společnosti SG Geotechnika a.s. týkající se problematiky hlubinného ukládání radioaktivních odpadů sahají do devadesátých let dvacátého století. V té době se razil podzemní kavernový zásobník plynu Příbram-Háje. Při této příležitosti bylo uvažováno, že by se využila infrastruktura dolu a část podzemí v blízkosti šachty č. 16 by sloužila jako tzv. generická laboratoř, tj. sloužila by pro vývoj metodik charakterizace hornin, vyhodnocení dlouhodobé bezpečnosti a demonstrace plánovaných technologií a materiálů bez vazby na finální lokalitu hlubinného úložiště. Hlavním důvodem realizace byla její přístupnost a litologie, která odpovídá konceptu ukládání radioaktivního odpadu [1]. Od roku 2004 bylo ve společnosti SG Geotechnika a.s. řešeno minimálně deset výzkumných projektů, které se týkaly zmíněné problematiky. Předkládaný článek také mimo jiné shrnuje některé poznatky, které již byly v předchozích číslech časopisu Tunel publikovány, viz seznam literatury na konci článku.

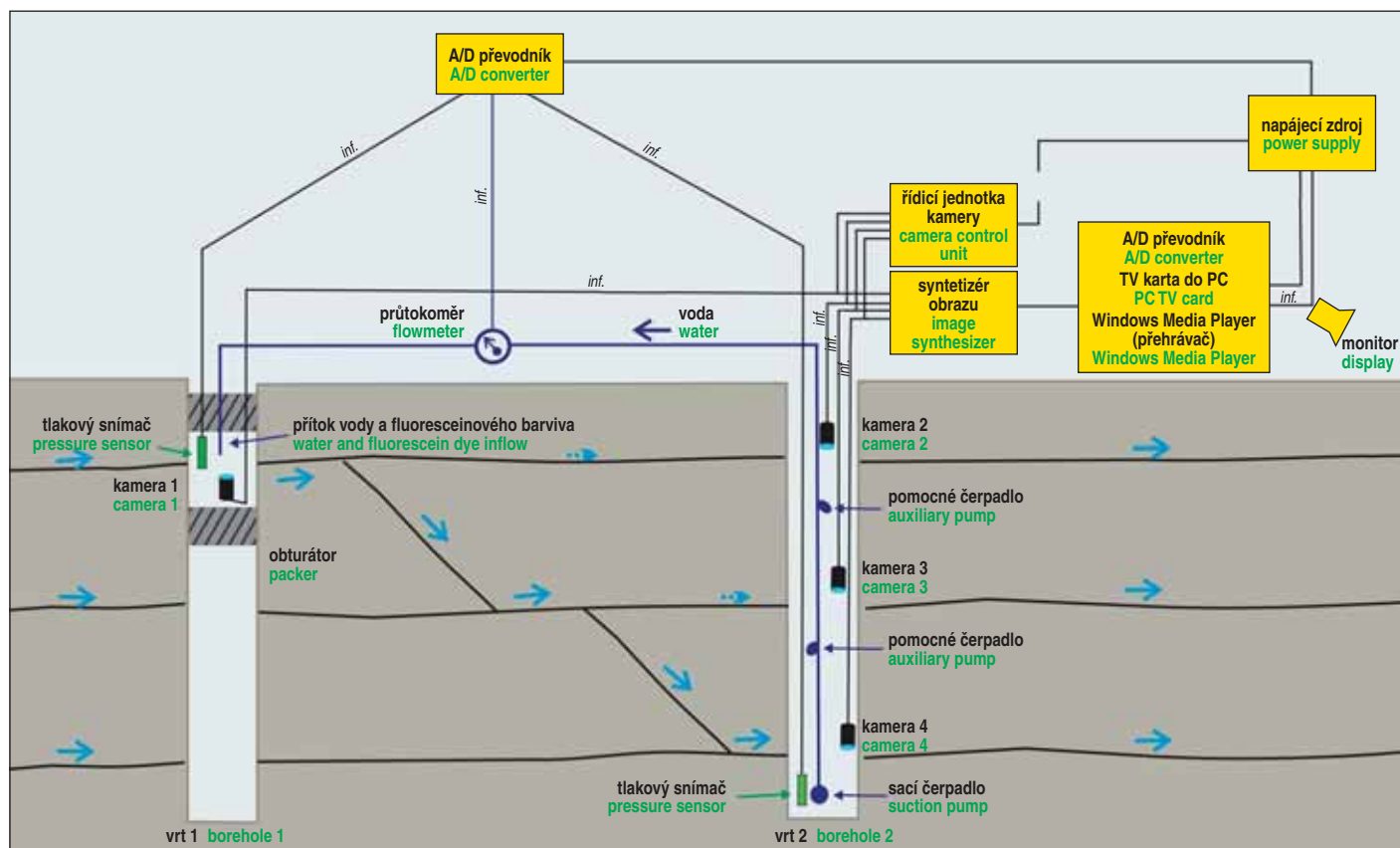
POVRCHOVÝ PRŮZKUM

V rámci projektu „Metody a nástroje hodnocení vlivu inženýrských bariér na vzdálené interakce v prostředí hlubinného úložiště“, realizovaného v letech 2004 až 2009, byla posouzena schopnost predikovat vliv aplikovaných inženýrských bariér na migrační

is estimated at approximately 100 years, after which it will be progressively closed using a system of plugs and backfills.

Currently, the selection of the final site for the safe disposal of radioactive waste is underway. The evaluation criteria include, among other factors, sufficient size and low variability of the rock mass, slow groundwater flow, and seismic stability. The site selection process is progressing from earlier stages of surface and geophysical investigations to drilling investigations, including hydrogeological works and determination of the orientation of the principal stresses within the rock mass. Subsequently, a so-called confirmation laboratory will be excavated at the final site during construction, where the properties of the rock mass and the engineered barrier system i.e., containers and bentonite will be verified.

The research activities of SG Geotechnika a.s. related to deep geological disposal of radioactive waste date back to the 1990s. At that time, the Příbram-Háje underground gas storage cavern was being excavated. On that occasion, it was considered to use the mine infrastructure and part of the underground space near Shaft No. 16 as a so-called generic laboratory. This laboratory would serve for the development of rock characterization methodologies, evaluation of long-term safety, and demonstration of planned technologies and materials, without direct linkage to the final repository site. The main reasons for its implementation were its accessibility and lithology, which correspond to the concept of radioactive waste disposal [1]. Since 2004, at least ten research projects related to this topic have been carried out within SG Geotechnika a.s. The present article also summarizes some findings that have already been published in previous issues of the journal Tunel; see the list of references at the end of the article.



Obr. 1 Schéma cross-hole testu s fluoresceinem na lokalitě Panské Dubenky
Fig. 1 Diagram of a cross-hole test with fluorescein at the Panské Dubenky site

parametry zvodnělých puklinových systémů pomocí numerického modelování. V rámci laboratorního výzkumu byla testována tělesa s jednou jednoznačně definovanou puklinou. Hydrodynamické a migrační testy probíhaly za podmínek stacionárního proudění při konstantním hydraulickém gradientu v nasyceném prostředí. Každý vzorek byl testován minimálně pro tři rozdílné hydraulické gradienty. Výstupem hydrodynamických testů byly objemové průtoky vzorkem. Pro migrační testy byly jako konzervativní stopovací látky zvoleny roztoky chloridu sodného a Na-fluoresceinu. Detekce stopovacích látek probíhaly měřením elektrické konduktivity, resp. intenzity záření stopovače v modrém světle. Výstupem byly průnikové křivky stopovačů. Terénní výzkum probíhal v kamenolomu Panské Dubenky, který má jednoduchý puklinový systém, jehož znalost byla nezbytná k realizaci všech terénních měření a experimentů. Celkem bylo na lokalitě realizováno čtrnáct vrtů hlubokých maximálně 9,0 m, které poskytly informace o puklinové síti. V rámci terénních prací byly provedeny tři sady cross-hole testů (C-H testy) prováděných na dvojicích vrtů (obr. 1). Tyto testy sloužily ke kalibraci parametrů středního rozvětvení puklin puklinové sítě v matematickém modelu [2].

Na výše zmíněný projekt plynule navázal projekt „Výzkum vlivu mezizrnné propustnosti granitů na bezpečnost hlubinného ukládání do geologických formací a vývoj metodiky a měřicí aparatury“ uskutečněný v letech 2009 až 2013. Cílem tohoto projektu byla podrobná charakterizace jedenácti granitoidních plutonů a masivů v rámci České republiky. Projekt zahrnoval realizaci jedenácti vrtů hlubokých přibližně 100 m. Ve vrtech probíhal podrobný strukturně geologický, karotážní, hydrogeologický a geotechnický výzkum. Vrtná jádra z těchto vrtů a vrtná jádra archivní z předchozích průzkumných prací byla detailně testována všemi v té době známými metodami petrofyziky, mechaniky hornin a geochemie. Z výsledků laboratorních zkoušek vyplývá, že zásadní vliv na propustnost, difuzi, pevnost i pružnost horninové matrice má její pórovitost (obr. 2). Hodnoty dynamických modulů pružnosti, stanovených na laboratorních vzorcích ultrazvukovým prozařováním, byly o 18 % vyšší než hodnoty modulů stanovených staticky zatěžováním v jednoosém tlaku (obr. 3). Rozdíly modulů pružnosti a přetvárnosti měřených in situ a na laboratorních vzorcích ze stejné hloubky byly způsobeny měřítkovým efektem a přítomností in situ diskontinuit. Přítomnost in situ diskontinuit indikoval i větší rozdíl modulů pružnosti a přetvárnosti in situ, který byl způsoben nevratnou

SURFACE INVESTIGATION

Within the project “Methods and Tools for Assessing the Influence of Engineered Barriers on Remote Interactions in the Environment of a Deep Geological Repository”, carried out between 2004 and 2009, the ability to predict the influence of applied engineered barriers on the migration parameters of water-bearing fracture systems using numerical modelling was evaluated.

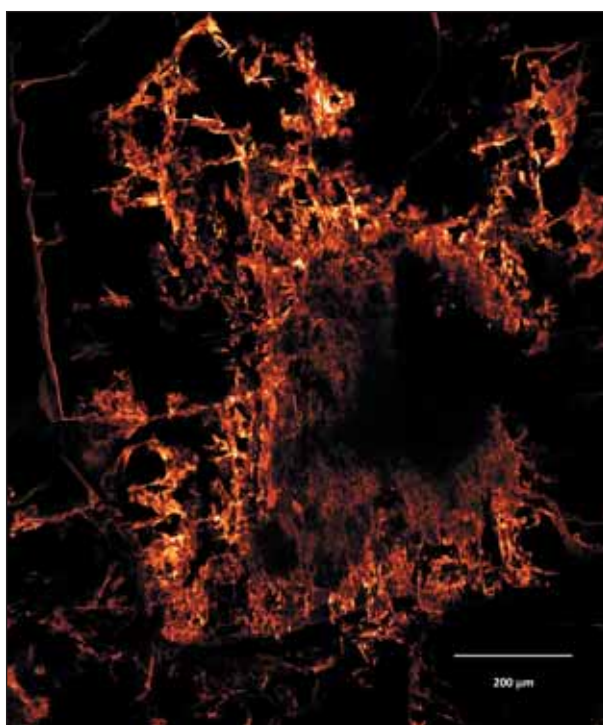
As part of the laboratory research, specimens containing a single, clearly defined fracture were tested. Hydrodynamic and migration tests were conducted under conditions of steady-state flow at a constant hydraulic gradient in a saturated environment. Each specimen was tested under at least three different hydraulic gradients. The outputs of the hydrodynamic tests were volumetric flow rates through the samples.

For migration tests, solutions of sodium chloride and sodium fluorescein were selected as conservative tracers. Detection of tracers was carried out by measuring electrical conductivity and, respectively, tracer fluorescence intensity under blue light. The outputs were tracer penetration curves.

Field research was conducted in the Panské Dubenky quarry, which features a simple fracture system whose characterization was essential for the implementation of all field measurements and experiments. A total of fourteen boreholes, with depths of up to 9.0m, were drilled at the site, providing information on the fracture network. Within the fieldwork, three sets of cross-hole tests (C-H tests) were performed on pairs of boreholes (Fig. 1). These tests were used to calibrate the parameters of the mean fracture aperture within the fracture network in the mathematical model [2].

The above-mentioned project was followed by the project “Investigation of the Influence of Intergranular Permeability of Granites on the Safety of Deep Geological Disposal and Development of Methodology and Measuring Apparatus”, conducted from 2009 to 2013. The aim of this project was the detailed characterization of eleven granitoid plutons and massifs within the Czech Republic. The project included the drilling of eleven boreholes, each approximately 100m deep.

Detailed structural geological, geophysical logging, hydrogeological, and geotechnical investigations were carried out in the boreholes. Drill cores from these boreholes, along with archived cores from previous investigations, were thoroughly tested using all



Obr. 2 Pórový prostor zrna draselného živce z lokality Panské Dubenky zachycený konfokálním mikroskopem

Fig. 2 Pore space of a potassium feldspar grain from the Panské Dubenky site captured by a confocal microscope



Obr. 3 Stanovení modulu pružnosti během jednoosého stlačování pomocí odporových tenzometrů a ultrazvukového prozařování

Fig. 3 Determination of the elastic modulus during uniaxial compression using strain gauges and ultrasonic testing

plastickou deformací vzniklou během zatěžování a odlehčování při zkoušce uniaxiálním (Goodmanovým) lisem in situ. Výsledky obou projektů jsou mimo jiné podrobněji diskutovány ve článku [3].

PODZEMNÍ LABORATOŘ JOSEF

Projekt „Výzkum termální zátěže hornin – perspektivy podzemního skladování tepelné energie“ probíhal v letech 2011 až 2014 v prostředí podzemní laboratoře Josef, což je bývalá průzkumná štola, jejíž ražba souvisela s geologickým průzkumem zlatonosných ložisek Čelina a Mokrsko. Projekt se zabýval problematikou ukládání tepelné energie v prostředí granitických hornin při relativně nízkých teplotách (cca 90 °C). Vzhledem k teplotám a horninám, které jsou uvažovány v okolí kontejneru s vyhořelým radioaktivním palivem, byly výsledky projektu aplikovatelné i v oboru problematiky hlubinného ukládání radioaktivních odpadů. Spolehlivé zpracování zvoleného tématu vyžadovalo podrobné studium teplotních, hydrodynamických, mechanických a chemických procesů (THMC coupling), které při zahřívání granitoidů probíhaly. Hlavní experiment sestával ze širokoprofilového horizontálního vrtu simulujícího vrt ukládací a okolo rozmístěných vrtů monitorovacích. V rámci experimentu byly měřeny pomocí teploměrů, měření napětí a pře-

methods available at the time in petrophysics, rock mechanics, and geochemistry.

The results of laboratory testing indicate that porosity of the rock matrix has a fundamental influence on permeability, diffusion, strength, and elasticity of the rocks (Fig. 2). The values of dynamic elastic moduli determined on laboratory samples by ultrasonic testing were approximately 18% higher than those obtained from static loading under uniaxial compression (Fig. 3).

Differences between elastic and deformation moduli measured in situ and on laboratory samples taken from the same depth were attributed to scale effects and the presence of in situ discontinuities. The presence of in situ discontinuities was also indicated by larger differences between elastic and deformation moduli measured in situ, caused by irreversible plastic deformation occurring during loading and unloading in uniaxial (Goodman jack) testing in situ.

The results of both projects are discussed in more detail in [3].

JOSEF UNDERGROUND LABORATORY

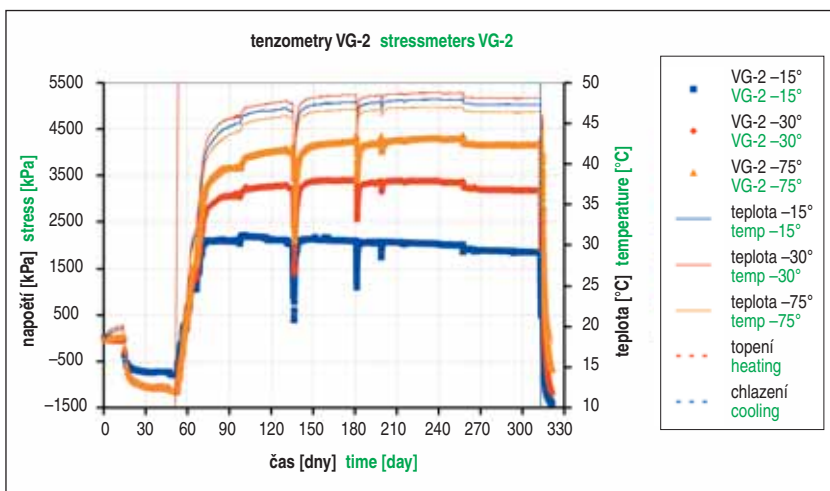
The project “Investigation of Thermal Loading of Rock – Prospects for Underground Thermal Energy Storage” was carried out between 2011 and 2014 in the environment of the Josef Underground

Laboratory, which is a former exploration adit associated with geological surveys of the Čelina and Mokrsko gold-bearing deposits.

The project addressed the issue of storing thermal energy in granitic rock environments at relatively low temperatures (approximately 90°C). Given the temperatures and rock types expected in the vicinity of containers with spent nuclear fuel, the results of this project were also applicable to the field of deep geological disposal of radioactive waste.

Reliable treatment of the topic required detailed study of thermal, hydrodynamic, mechanical, and chemical processes (THMC coupling) occurring during the heating of granitoids. The main experiment consisted of a large-diameter horizontal borehole simulating a disposal borehole, surrounded by monitoring boreholes.

Within the experiment, the responses of the rock mass to heating and cooling were measured using



Obr. 4 Změny napětí horninového masivu důsledkem tepelného namáhání
Fig. 4 Changes in rock mass stress as a result of thermal loading

tvorení, piezometrů a seismoakustických sond odezvy horninového masivu na zahřívání a chlazení. Významný byl vliv tepelného namáhání na změny napětí v hornině. Po zahájení ohřevu vystoupala napětí registrovaná jednoosými snímači ve vrtu vzdáleném 0,24 m od vrtu s topidlem až na hodnotu 4 600 kPa (obr. 4). Změny napětí byly vratné, přičemž velmi rychle reagovaly na intenzitu vytápění horninového masivu. Změny napětí byly registrovány až do vzdálenosti cca 4 m od topidla. Podrobněji je experiment popsán v [4, 5].

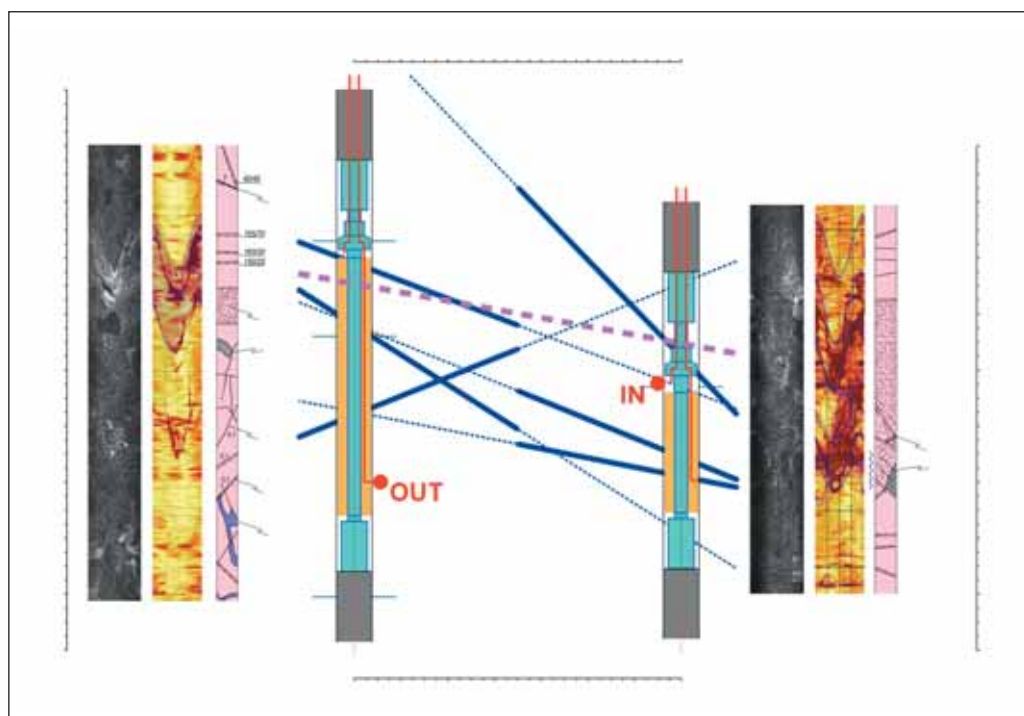
Projekt „Výzkum stability bentonitu v in situ podmínkách při teplotách do 95 °C“ byl ve štoli Josef realizován v letech 2012 až 2015. Cílem výzkumu bylo vyhodnocení a srovnání vybraných interaktivních procesů in situ v reálném prostředí. Monitorovány byly geochemické, fyzikálně-chemické a mineralogické procesy indukované v granitovém prostředí odpovídajícím horninovému prostředí úložiště a bentonitovému těsnění korespondujícímu s materiálem inženýrské bariéry vyvolané dlouhodobým působením teplot až 95 °C. Vybraný bentonit byl charakterizován pomocí mechanicko-fyzikálních a geochemických laboratorních metod. Monitoring modelu bentonitového těsnění byl uskutečněn měřením jeho teplot a bobtnacích tlaků, a dále tlaku na kontaktu horniny s tělesem bentonitu a v hornině samotné v bezprostředním okolí

thermometers, stress and strain measurements, piezometers, and seismoacoustic sensors. A significant effect of thermal loading on stress changes in the rock was observed. After the start of heating, stresses recorded by uniaxial sensors in a borehole located 0.24m from the heater borehole increased to up to 4,600kPa (Fig. 4). These stress changes were reversible and responded very rapidly to the intensity of heating of the rock mass. Changes in stress were detected at distances of up to approximately 4m from the heater. A more detailed description of the experiment is provided in [4, 5].

The project “Investigation of Bentonite Stability under In Situ Conditions at Temperatures up to 95°C” was carried out in the Josef adit between 2012 and 2015. The aim of the research was to evaluate and compare selected interactive processes under real in situ conditions.

Geochemical, physico-chemical, and mineralogical processes induced in a granitic environment representing the repository host rock, and in bentonite sealing corresponding to the engineered barrier material, were monitored under long-term exposure to temperatures up to 95°C.

The selected bentonite was characterized using mechanical, physical, and geochemical laboratory methods. Monitoring of the



Obr. 5 Řez horninovým prostředím a detail multipakrového systému včetně vrtné kolony zahrnující optickou a akustickou karotáž a geologický popis vrtů

Fig. 5 Section through the rock environment and detail of the multipacker system, including the drill string with optical and acoustic logging and geological description of boreholes

topidla. Dále byl realizován geoelektrický, georadarový, hydrodynamický a hydrochemický monitoring.

Projekt „Injektáž, vrtné a utěšňovací práce pro experiment EPSP realizovaný v rámci mezinárodního projektu DOPAS“, uskutečněný v letech 2013 až 2014, byl zaměřen na výstavbu experimentální zátky hlubinného úložiště oddělující již zaplněné prostory (úložné tunely) od prostor nezaplňných. Se stavbou zátky ve skutečném měřítku dále souvisely práce týkající se instrumentace souvisejícího geotechnického monitoringu a posouzení účinnosti její injektáže pomocí vodních tlakových zkoušek.

Cílem projektu „Přenos hodnot migračních Parametrů granitických hornin z Mikroměřítko do REálného měřítko horninového masivu“, realizovaného v letech 2014 až 2017, bylo stanovit míru reprodukovatelnosti výstupů laboratorního studia transportních procesů stopovačů v porovnání s výsledky experimentu většího měřítko (v řádu dm) a následně ji implementovat do reálných podmínek granitických hornin (experiment in situ) a do modelů, vyhodnocujících migraci radionuklidů do horniny. Pro popis horninového prostředí a vytvoření modelu pórového prostoru horninové matrice byla mimo jiné použita metoda identifikace četnosti, propojenosti a velikosti pórů v horninových vzorcích pomocí kombinace aplikace fluorescenční pryskyřice a konfokálního mikroskopu [6]. Dalším z výstupů projektu bylo zavedení metodiky použití radioaktivních stopovačů v horninovém prostředí jako pilotního experimentu tohoto typu v ČR. V roce 2017 byly ve dvojici vrtů v intervalech s otevřenou puklinou vyhodnoceny dvě stopovací zkoušky s tritiem. Multipakrové systémy byly dále použity k monitoringu tlaku podzemní vody (obr. 5). Podrobnější popis experimentu realizovaného ve štolě Josef je uveden v [7].

PODZEMNÍ VÝZKUMNÉ PRACOVÍŠTĚ BUKOV

Projekt „Získání dat z hlubokých horizontů dolu Rožná“, realizovaný v letech 2017 až 2020, byl zaměřen na získání unikátních prostorových geologických, geotechnických, geochemických a transportních dat z hloubkové úrovně cca 500–1200 m pod

bentonite sealing model included measurements of its temperature and swelling pressures, as well as pressure at the contact between the rock and the bentonite body and within the surrounding rock mass near the heater. In addition, geoelectrical, ground-penetrating radar, hydrodynamic, and hydrochemical monitoring were performed.

The project “Grouting, Drilling and Sealing Works for the EPSP Experiment Implemented within the International DOPAS Project”, carried out between 2013 and 2014, focused on the construction of an experimental plug for a deep geological repository, separating already filled spaces (disposal tunnels) from unfilled ones.

The construction of the full-scale plug also involved work related to instrumentation for associated geotechnical monitoring and assessment of the effectiveness of its grouting using water pressure tests.

The aim of the project “Transfer of Migration Parameter Values of Granitic Rocks from Micro-scale to Real-scale Rock Mass” (2014–2017) was to determine the degree of reproducibility of outputs from laboratory studies of tracer transport processes compared to the results of larger-scale experiments (on the order of decimetres), and subsequently to implement these findings into real conditions of granitic rocks (in situ experiments) and into models evaluating radionuclide migration into the rock.

For describing the rock environment and creating a model of the pore space of the rock matrix, a method for identifying the frequency, connectivity, and size of pores in rock samples was used, combining the application of fluorescent resin and confocal microscopy [6].

Another outcome of the project was the introduction of a methodology for the use of radioactive tracers in the rock environment, representing a pilot experiment of this type in the Czech Republic. In 2017, two tracer tests using tritium were evaluated in a pair of boreholes within intervals containing open fractures. Multipacker systems were further used to monitor groundwater pressure (Fig. 5). A more detailed description of the experiment carried out in the Josef adit is provided in [7].

BUKOV UNDERGROUND RESEARCH FACILITY

The project “Acquisition of Data from Deep Levels of the Rožná Mine”, carried out between 2017 and 2020, focused on obtaining unique spatial geological, geotechnical, geochemical, and transport data from depths of approximately 500–1200m below the surface (i.e., from the 12th to 24th levels) of the former Rožná uranium mine.

In order to evaluate the influence of a major tectonic structure on its surroundings necessary for the purposes of site selection and safety assessment of a deep geological repository a comprehensive set of laboratory and in situ investigations was carried out within the project.

povrchem (tj. z 12.–24. patra) bývalého uranového dolu Rožná. Za účelem vyhodnocení vlivu významné tektonické struktury na její okolí, potřebné pro účely lokalizace a hodnocení bezpečnosti lokality hlubinného úložiště, byl v rámci projektu realizován komplex laboratorních a in situ prací. Laboratorní stanovení fyzikálních, technologických, pevnostních a přetvárných vlastností hornin bylo provedeno na vzorcích, které byly testovány ve třech základních směrech vůči texturním prvkům horniny – ve směru kolmém k metamorfní foliaci, ve směru rovnoběžném s metamorfní foliací a ve směru kosém vůči metamorfní foliaci. Z výsledků laboratorního stanovení vlastností hornin není patrná závislost studovaných parametrů na hloubce. Vzorky, které byly zatěžovány paralelně s foliací, měly v tomto případě vyšší pevnost v prostém tlaku a modul přetvárnosti než vzorky zatěžované kolmo na foliaci. Heterogenita studovaných migmatizovaných pararul je výraznější než vliv zlomové struktury.

Projekt „Výzkum puklinové konektivity v PVP Bukov“ realizovaný v letech 2019 až 2024 byl zaměřen na výzkumně-vývojové práce vedoucí k získání informací o rychlosti a charakteru toku podzemní vody, konektivitě puklinových sítí a v obecné rovině pak na metodiku a zpracování geologických a hydrogeologických DFN (Discrete Fracture Network) modelů. Monitoring tlaku podzemní vody v PVP Bukov byl zajištěn pomocí multipakového systému složeného ze čtyř prvků, tlakových průchodek a trubek. Tlakové průchodky obsahující čtyři vývody zajistily v testované etáži možnost současně měřit tlak podzemní vody a vzorkovat vodu ze dvou různých míst, případně jednou trubičkou tlakovat a druhou nasávat a umožnit tak cirkulaci vody. Poslední vývod sloužil k tlakování dalšího pakru. V této konfiguraci lze jednotlivé pakry tlakovat samostatně. U vrtů byly instalovány kontrolní a ovládací panely multipakových systémů, které obsahovaly zakončení tlakových rozvodů z prvků. Tlakování pakrů bylo zajištěno vodou pomocí expanzních nádob (obr. 6).

V letech 2023 až 2025 byl realizován projekt „Hydrogeologický monitoring podzemních, povrchových a důlních vod v PVP Bukov I“. Hydrogeologický monitoring navazoval na výsledky předchozích projektů od roku 2014, především na výsledky komplexní geologické charakterizace prostorů PVP Bukov ukončené v roce 2017 a následného pětiletého režimního monitoringu podzemních,

Laboratory determination of physical, technological, strength, and deformation properties of rocks was performed on samples tested in three principal orientations relative to the rock fabric: perpendicular to the metamorphic foliation, parallel to the foliation, and oblique to the foliation.

The laboratory results do not indicate a dependence of the studied parameters on depth. Samples loaded parallel to the foliation exhibited higher uniaxial compressive strength and deformation modulus compared to samples loaded perpendicular to the foliation. The heterogeneity of the studied migmatized paragneisses was found to be more pronounced than the influence of the fault structure.

The project “Investigation of Fracture Connectivity at the Bukov URF”, carried out between 2019 and 2024, focused on research and development activities aimed at acquiring information on the velocity and character of groundwater flow, connectivity of fracture networks, and, in general, on methodologies for the development and processing of geological and hydrogeological DFN (Discrete Fracture Network) models.

Groundwater pressure monitoring at the Bukov URF was ensured using a multipacker system consisting of four elements, pressure feedthroughs, and tubing.

The pressure feedthroughs, equipped with four outlets, allowed simultaneous measurement of groundwater pressure and sampling of water from two different locations within the tested level. Alternatively, one tube could be used for pressurization and another for suction, enabling water circulation. The last outlet was used for pressurizing another packer.

In this configuration, individual packers could be pressurized independently. Control and operating panels of the multipacker systems were installed at the boreholes, containing the terminations of the pressure distribution lines from the system elements. Pressurization of the packers was achieved using water supplied via expansion vessels (Fig. 6).

In 2023–2025, the project “Hydrogeological Monitoring of Groundwater, Surface Water and Mine Water at the Bukov URF I” was carried out.

The hydrogeological monitoring followed on from the results of previous projects since 2014, particularly the comprehensive geological characterization of the Bukov URF area completed in 2017 and the subsequent five-year regime monitoring of groundwater, surface water, and mine water completed in 2023.

The objective of the hydrogeological monitoring, both at the surface (above the Bukov URF I area) and underground (within Bukov URF I and other locations at the 12th level of the Rožná I mine at a depth of around 500 m below ground), was to obtain information on the nature of shallow and deep groundwater circulation, as well as their qualitative and quantitative parameters in time and space.

The evaluation of the regime monitoring made it possible to assess the interrelationships between different types of water and supplemented the existing knowledge on the characterization of their origin, flow, and accumulation.

The objective of the project “Geological and Geotechnical Characterization of the Rock Environment – Bukov URF II”, carried out between 2021 and 2025, was the collection, storage, and interpretation of data in the form of a 3D model, with emphasis on developing classification procedures



Obr. 6 Kontrolní a ovládací panely multipakrů ve vrtech v PVP Bukov I

Fig. 6 Control and operating panels of multipacker systems in boreholes at Bukov URF I

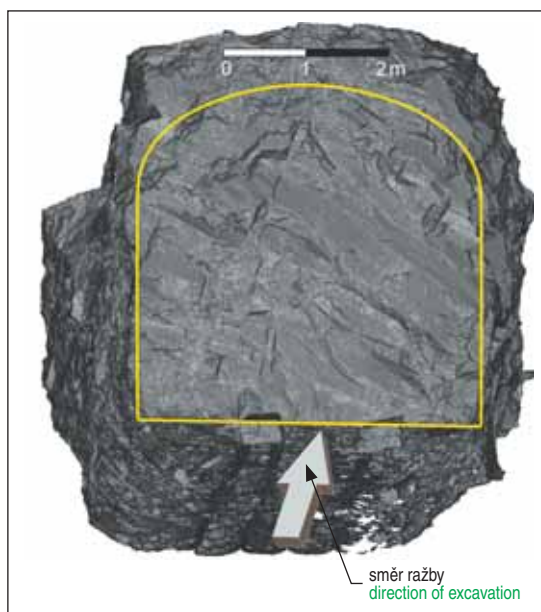
povrchových a důlních vod ukončeného v roce 2023. Cílem hydrogeologického monitoringu jak na povrchu (nad prostorem PVP Bukov I), tak v podzemí (v PVP Bukov I a dalších místech na 12. patře dolu Rožná I v hloubce okolo 500 m pod povrchem), bylo získat informace o charakteru podzemních vod mělkého i hlubokého oběhu, o jejich kvalitativních a kvantitativních parametrech v čase a prostoru. Vyhodnocení režimního monitoringu umožnilo posouzení vzájemných vazeb jednotlivých typů vod a doplnilo dosud získané znalosti o charakterizaci prostředí jejich vzniku, proudění a akumulaci.

Cílem projektu „*Geologická a geotechnická charakterizace horninového prostředí – PVP Bukov II*“ realizovaného v letech 2021 až 2025 byl sběr, uložení a interpretace dat ve formě 3D modelu, s akcentem na získání postupů klasifikace horninového prostředí vhodných při budování hlubinného úložiště. Jeho plnění zahrnovalo geologickou a geotechnickou dokumentaci, petrografické, mineralogické a strukturně-geologické analýzy, hydrogeologické charakterizace, stanovení fyzikálně-mechanických vlastností hornin in situ a v laboratoři, geofyzikální měření, monitorování seismických efektů trhacích prací a analýzu EDZ (zóna porušení). Prostory nového PVP Bukov II tvoří šest paralelních chodeb o délkách 95, 90 a 75 m. Tyto chodby jsou propojené čtyřmi větracími chodbami. Ve vybraných chodbách vzniklo souhrnně 14 desetimetrových slepých zkušebních komor pro budoucí experimenty. V průběhu ražby chodeb pro PVP Bukov II byla prováděna standardní geotechnická dokumentace horninového masivu pro jednotlivé záběry. Výstupem této dokumentace bylo vyhodnocení ve třech indexových klasifikačních systémech. Tyto indexové klasifikační systémy bývají tradičně součástí geotechnického monitoringu podzemních staveb a jako informace o kvalitě horninového masivu slouží pro zhodnocení stability důlního díla, případně pro prognózu chování budoucích záběrů raženého díla. V případě řešeného PVP Bukov II bylo navíc paralelním cílem zjistit možnosti užití indexových klasifikačních systémů, či jejich částí, pro potřeby vyhodnocení vhodnosti důlního díla pro dlouhodobé uložení radioaktivního odpadu. Geodetická část dokumentace čelb byla prováděna metodou digitální fotogrammetrie (obr. 7). Zaměření skutečného stavu nově vyražených prostor PVP Bukov II bylo provedeno pomocí technologie laserového skenování. Využití fotogrammetrie a laserscanu pomohlo při geotechnické dokumentaci čelb k podrobnějšímu vyhodnocení strukturně geologických fenoménů. Podrobněji je projekt popsán v [8].

PRŮZKUM LOKALIT

Na lokalitách vybraných pro finální úložiště radioaktivního odpadu se pracovníci společnosti SG Geotechnika a.s. podíleli na třech projektech.

V rámci projektu „*Provedení geologických a dalších prací pro hodnocení a zúžení výběru lokalit pro umístění hlubinného úložiště*“ realizovaného v letech 2002 až 2005 byly provedeny geologické práce pro ověření homogenity horninových masivů zkoumaných



Obr. 7 Fotogrammetrický model nově vyraženého prostoru v PVP Bukov II

Fig. 7 Photogrammetric model of a newly excavated space at Bukov URF II

for rock environments suitable for the construction of a deep geological repository.

The project included geological and geotechnical documentation, petrographic, mineralogical, and structural geological analyses, hydrogeological characterization, determination of the physical and mechanical properties of rocks both in situ and in the laboratory, geophysical measurements, monitoring of seismic effects from blasting operations, and analysis of the EDZ (Excavation Damaged Zone).

The newly constructed Bukov URF II facility consists of six parallel galleries with lengths of 95, 90, and 75m. These galleries are interconnected by four ventilation drifts. In selected galleries, a total of 14 blind test chambers, each 10m long, were created for future experiments.

During the excavation of the Bukov URF II galleries, standard geotechnical documentation of the rock mass was carried out for individual excavation rounds. The outputs of this documentation were evaluations using three index classification systems. These systems are traditionally part of geotechnical monitoring of underground structures and serve as indicators of rock mass quality, used to assess the stability of underground workings and to predict the behaviour of future excavation rounds.

In the case of Bukov URF II, an additional parallel objective was to assess the applicability of index classification systems, or their components, for evaluating the suitability of underground openings for long-term radioactive waste disposal.

The geodetic documentation of tunnel faces was carried out using digital photogrammetry (Fig. 7). Surveying of the as-built state of newly excavated spaces at Bukov URF II was performed using laser scanning technology. The use of photogrammetry and laser scanning improved the level of detail in the geotechnical documentation of tunnel faces, particularly in the evaluation of structural geological features.

A more detailed description of the project is provided in [8].

SITE INVESTIGATIONS

At sites selected for the final repository of radioactive waste, employees of SG Geotechnika a.s. participated in three projects.

Within the project “*Execution of Geological and Other Works for the Evaluation and Narrowing Down of Sites for the Siting of a Deep Geological Repository*” carried out between 2002 and 2005, geological work was performed to verify the homogeneity of rock masses at the investigated locations Lodhřov, Budišov, Blatno, Božejovice-Vlksice, Pačejov-nádraží, and Rohozná. In addition, geographic information systems (GIS) for the individual site projects were developed and operated.

The project “*Assessment of Geological and Other Information from Selected Parts of the Czech Moldanubian Zone in Terms of Potential Suitability for the Siting of a Deep Geological Repository in the ETE-south Polygon*” was carried out between 2016 and 2018. Based on the results of geological research and mapping (geology, hydrogeology, hydrology, geophysics, and engineering geology), as well as other relevant information, the potential suitability of

lokalit Lodhéřov, Budišov, Blatno, Božejovice-Vlksice, Pačejov-nádraží a Rohozná. Dále byly vybudovány a provozovány geografické informační systémy (GIS) projektů lokalit.

Projekt „*Zhodnocení geologických a dalších informací vybraných částí českého moldanubika z hlediska potenciální vhodnosti pro umístění hlubinného úložiště v polygonu ETE-jih*“ byl realizován v letech 2016 až 2018. Na základě výsledků geologického výzkumu a mapování (geologie, hydrogeologie, hydrologie, geofyzika a inženýrská geologie) a dalších relevantních informací byla posouzena potenciální vhodnost horninového masivu ve vymezeném území českého moldanubika. V rámci projektu proběhlo sestavení 3D geologických modelů, zhodnocení existujících střetů zájmů a vymezení potenciálně vhodného horninového bloku a průzkumného území pro zvláštní zásahy do zemské kůry. Součástí projektu bylo rovněž vytvoření centrálního datového skladu, dále zpracování Předběžné studie proveditelnosti s variantním řešením umístění HÚ, Studie EIA (pracovní) a Žádosti o stanovení průzkumného území pro zvláštní zásahy do zemské kůry (PÚ ZZZK).

Cílem projektu „*Geofyzikální práce pro popis geologické stavby potenciálních lokalit HÚ v ČR*“ realizovaného na lokalitách ETE-jih (Janoch) a Čihadlo v letech 2017 až 2019 bylo provedení geofyzikálních prací (obr. 8), jež následně, v kombinaci s daty zjištěnými studiem povrchové geologie, geochemie, geomechaniky, sloužily k tvorbě geologického a hydraulického 3D modelu, zjištění homogenity horninového prostředí a kvantifikaci jeho křehkého porušení.

ZÁVĚR

Během posledních 30 let se výzkum a vývoj společnosti SG Geotechnika a.s., týkající se hlubinného ukládání radioaktivního odpadu, zaměřil hlavně na charakterizaci a popis vhodného horninového masivu, a to jak na vybíraných lokalitách, tak v prostředí podzemních laboratoří, a rovněž inženýrské bariéry tvořené bentonitem. Pórový prostor horniny tvořený mikrotrhlinami byl detailně popsán pomocí nově vyvinuté kombinace metod tvořenými impregnací fluorescenční pryskyřicí a užitím konfokálního skenovacího mikroskopu. Laboratorně byly použity standardní metody mechaniky hornin a zemin a dále metody nestandardní, jmenovitě stanovení tepelné vodivosti a teplotní roztažnosti, které jsou důležité při ukládání za zvýšených teplot. Terénní zkušebnictví bylo nejvíce zastoupeno stanovením modulu pružnosti pomocí uniaxiálního (Goodmanova) lisu. Kromě toho byly vrty detailně popsány metodami karotážními. Jako nejúčinnější se ukázaly metody optické a akustické karotáže a metoda ředění, která identifikuje přítoky podzemní vody. Podzemní voda, jako jediné dynamické médium v plánovaném úložišti bezpečném po dobu o několik řádů delší, než je běžná životnost inženýrských staveb, byla studována hydrodynamickými a transportními testy. Nejvhodnějšími metodami byly vodní tlakové zkoušky, spočívající



foto J. Nedvěd photo by J. Nedvěd

Obr. 8 Provádění gravimetrie na lokalitě Janoch u Temelína
Fig. 8 Gravimetric survey at the Janoch site near Temelín

the rock mass within the defined area of the Czech Moldanubian Zone was evaluated.

Within this project, 3D geological models were developed, existing land-use conflicts were assessed, and a potentially suitable rock and exploration area for special interventions into the Earth's crust were delineated. The project also included the creation of a central data repository, preparation of a preliminary feasibility study with alternative repository siting options, a working Environmental Impact Assessment (EIA)

study, and an application for designation of an exploration area for special interventions into the Earth's crust.

The objective of the project “*Geophysical Works for the Description of Geological Structure of Potential Repository Sites in the Czech Republic*”, carried out at the ETE-south (Janoch) and Čihadlo sites between 2017 and 2019, was to perform geophysical investigations (Fig. 8). These were subsequently combined with data obtained from surface geology, geochemistry, and geomechanics studies to develop geological and hydraulic 3D models, assess the homogeneity of the rock environment, and quantify its brittle deformation.

CONCLUSION

Over the past 30 years, the research and development activities of SG Geotechnika a.s. related to deep geological disposal of radioactive waste have focused primarily on the characterization and description of suitable rock masses both at candidate sites and within underground laboratory environments as well as on engineered barriers composed of bentonite.

The pore space of the rock, formed by microfractures, was described in detail using a newly developed combination of methods involving impregnation with fluorescent resin and the use of a confocal scanning microscope.

In laboratory conditions, standard methods of rock and soil mechanics were applied, along with non-standard methods, particularly the determination of thermal conductivity and thermal expansion, which are important for disposal under elevated temperatures.

Field testing was dominated by the determination of the elastic modulus using a uniaxial (Goodman) jack. In addition, boreholes were described in detail using logging methods. The most effective proved to be optical and acoustic logging, as well as the dilution method, which identifies inflows of groundwater.

Groundwater, as the only dynamic medium in the planned repository designed to remain safe over periods several orders of magnitude longer than the lifetime of typical engineering structures was studied using hydrodynamic and transport tests. The most suitable methods were water pressure tests, consisting first in identifying conductive structures within boreholes using a double packer, followed by instrumentation of the boreholes using triple or quadruple packer systems.

cí nejprve v nalezení vhodných vodivých struktur ve vrtu pomocí dvojitého pakru a následným osazením vrtů pomocí troj- nebo čtyřnásobných pakrů. V roce 2017 byla v podzemní laboratoři Josef pomocí multipakrů realizována stopovací zkouška s radioaktivním stopovačem, a to tritiem. Geochemicky byly podzemní vody charakterizovány v rámci hydrogeologických monitoringů ve vrtech realizovaných jak z povrchu, tak v podzemí. Mezi nejvýznamnější metody geotechnického monitoringu patřilo měření změn napětí horninového masivu, vyvolaného jeho zahříváním, pomocí stressmeterů a měření pórového tlaku podzemní vody ve vrtech pomocí piezometrů. Na plánovaných lokalitách úložiště radioaktivního odpadu byl realizován rozsáhlý geotechnický a geofyzikální průzkum zahrnující zejména metody reflexní a refrakční seismiky, elektrické odporové tomografie, magnetometrie, gravimetrie a dipólové odporové profilace, které jsou především vhodné pro mapování tektonických poruch, litologických rozhraní a hloubky zvětrání, respektive celkové charakteristiky horninového masivu. Na úložišti Richard byly dále úspěšně využity metody georadaru a dipólového elektromagnetického profilování, které mají mělčí dosah. Pomocí nich byly např. zjištěny zavalené větrací komíny.

V současnosti spolupracuje společnost SG Geotechnika a.s. se Správou úložišť radioaktivních odpadů na dvou projektech, a to „Monitoring pórových tlaků vody v PVP Bukov II“, který je realizován od roku 2024 a zcela novém „Geofyzikální práce pro popis geologické stavby potenciálních lokalit HÚ v rámci geologicko-průzkumných prací na lokalitách Horka, Hrádek, Březový potok a Janoch“.

Poděkování

Autoři článku děkují všem svým kolegům ze společnosti Watrad, spol. s r.o., Progeo, s.r.o., ÚJV Řež, a.s., Česká geologická služba, Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v. v. i., Geologický ústav AV ČR, v. v. i., Technická univerzita v Liberci / Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace, České vysoké učení technické v Praze / Fakulta stavební, Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Masarykova univerzita a INSET s.r.o., kteří se na výzkumu podíleli.

RNDr. KAREL SOSNA, Ph.D., karel.sosna@geotechnika.cz,
Ing. JIŘÍ ZÁRUBA, MBA, jiri.zaruba@geotechnika.cz,
SG Geotechnika a.s.

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

In 2017, a tracer test using a radioactive tracer tritium was carried out in the Josef underground laboratory using multipacker systems. Groundwater was also geochemically characterized within hydrogeological monitoring programs conducted in boreholes drilled both from the surface and underground.

Among the most important geotechnical monitoring methods were measurements of stress changes in the rock mass induced by heating (using stressmeters) and measurements of pore water pressure in boreholes using piezometers.

At the planned repository sites, extensive geotechnical and geophysical investigations were carried out, including reflection and refraction seismics, electrical resistivity tomography, magnetometry, gravimetry, and dipole resistivity profiling. These methods are particularly suitable for mapping tectonic faults, lithological boundaries, the depth of weathering, and the overall characteristics of the rock mass.

At the Richard repository, additional methods such as ground-penetrating radar and dipole electromagnetic profiling having shallower penetration depth were successfully applied, for example to identify buried ventilation shafts.

At present, SG Geotechnika a.s. is cooperating with the Radioactive Waste Repository Authority on two projects: “Monitoring of Pore Water Pressures at Bukov URF II”, ongoing since 2024, and a new project “Geophysical Investigations for the Description of Geological Structure of Potential Repository Sites within Geological Survey Works at the Horka, Hrádek, Březový potok and Janoch Sites.”

Acknowledgements

The authors would like to thank all their colleagues from Watrad, spol. s r.o., Progeo, s.r.o., ÚJV Řež, a.s., the Czech Geological Survey, the Institute of Rock Structure and Mechanics of the Czech Academy of Sciences, the Institute of Geology of the Czech Academy of Sciences, the Technical University of Liberec / Institute for Nanomaterials, Advanced Technologies and Innovation, the Czech Technical University in Prague / Faculty of Civil Engineering, the Institute of Geonics of the Czech Academy of Sciences, Masaryk University, and INSET s.r.o., who participated in the research.

RNDr. KAREL SOSNA, Ph.D., karel.sosna@geotechnika.cz,
Ing. JIŘÍ ZÁRUBA, MBA, jiri.zaruba@geotechnika.cz,
SG Geotechnika a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] RŮŽIČKA, J. *Podzemní laboratoř*. Praha: Stavební geologie Geotechnika a.s., 1995, 27 s.
- [2] SOSNA, K., BROŽ, M., VANĚČEK, M. a POLÁK, M. Exploration of a Granite Rock Using a TV Camera, *Acta Geodyn. Geomater.*, 2009 Vol. 6, No. 4 (156), s. 453–463, ISSN 1214-9705.
- [3] ZÁRUBA, J., SOSNA, K., NAJSER, J. Výzkum vlastností horninového masivu pro návrh a realizaci podzemních úložišť. *Tunel*. 2012, roč. 21, č. 4, s. 25–33.
- [4] SOSNA, K., ZÁRUBA, J., FRANĚK, J. Výzkum tepelného namáhání hornin. *Tunel*. 2014, roč. 23, č. 4, s. 33–42.
- [5] RÁLEK, P., SOSNA, K., HOKR, M., FRANĚK, J. In situ measurements of thermally loaded rock and evaluation of an experiment with a 3D numerical model, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 105, May 2018, s. 1–10, ISSN 1365-1609, Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2018.01.042>.
- [6] HAVLOVÁ, V., GVOŽDÍK, L., SOSNA, K., SMUTEK, J., STAŠ, L. Radionuclide migration from the fracture towards granitic rock matrix. In: *Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXIX*. Montpellier, France, November 2–6, 2015.
- [7] SOSNA, K., ZUNA, M., GVOŽDÍK, L., ŠVAGERA, O., SMUTEK, J. Výzkum hydraulických a migračních vlastností krystalinických hornin v České republice. *Tunel*. 2022, roč. 31, č. 4, s. 14–21.
- [8] MAREČEK, L., MAREDA, L., BUKOVSKÁ, Z., SOSNA, K. Geotechnická charakterizace horninového masivu při ražbě Podzemního výzkumného pracoviště Bukov II. *Tunel*. 2025, roč. 34, č. 1, s. 18–24.

VÝSTAVBA KOLEKTORU HANGÁR G NA LETIŠTI VÁCLAVA HAVLA PRAHA Z POHLEDU TECHNICKÉHO DOZORU

HANGÁR G UTILITY TUNNEL CONSTRUCTION AT THE VÁCLAV HAVEL AIRPORT PRAGUE FROM THE PERSPECTIVE OF TECHNICAL SUPERVISION

RADEK BERNARD, IVO KOHOUŠEK

ABSTRAKT

Samotný projekt řeší efektivní a optimální uložení kabelové a potrubní infrastruktury v souvislosti s velkým počtem plánovaných projektů správce areálu letiště v Praze. Výstavba kabelového kolektoru Hangár G (dále HG) a napojené trafostanice TS20 představuje strategickou podzemní infrastrukturu pro rozvoj pražského letiště. Kolektor o celkové délce nepatrně přesahující 600 m kombinuje ražený úsek realizovaný Novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM) s hloubenou částí v otevřené stavební jámě, s cílem efektivně a bezpečně vést potřebné kabely a potrubí při plném provozu letiště. Součástí stavby je také zmiňovaná trafostanice TS20, zajišťující energetické napojení technologické infrastruktury. Článek popisuje geologické a geotechnické podmínky, technologický postup výstavby, bezpečnostní opatření a koordinaci podchodu pod komunikacemi a inženýrskými sítěmi z pohledu zástupců technického dozoru stavby (TDS). Největší výzvou bylo minimalizovat rizika při ražbě s nízkým nadložím (4,2–6 m) ve zvětralých slínovcích. Optimalizace postupu ražby, úpravy sekundárního ostění a hloubené části přinesla časovou a finanční úsporu. Geotechnický monitoring potvrdil bezpečnost a stabilitu konstrukce v průběhu výstavby. Realizace projektu dokládá vhodnost kombinace ražené a hloubené technologie při zachování provozní bezpečnosti a minimálních dopadů na okolí. V rámci projektu se investor rozhodl nasadit metodu BIM (informační modelování/management staveb) již od fáze projektové přípravy, včetně samotné realizace výstavby kolektoru a trafostanice.

ABSTRACT

The design itself addresses the effective and optimal placement of cable and pipeline infrastructure in relation to a plethora of projects planned by the Prague airport compound administrator. The construction of the Hangár G cable utility tunnel (hereinafter HG) and connected TS20 substation represents strategic underground infrastructure for the development of the Prague airport. The utility tunnel with a total length slightly surpassing 600m combines an excavated section built using the New Austrian tunnelling method (NATM) and a cut-and-cover part in an open construction pit with the goal of effectively and safely routing necessary cables and pipes during full airport operation. A part of the construction is also the aforementioned TS20 substation, which provides power to the technological infrastructure. The article describes geological and geotechnical conditions, technological construction process, safety measures, and the coordination of the crossing beneath roads and engineering networks from the viewpoint of representatives of the technical construction site supervision (TDS). The biggest challenge was the reduction of risk during excavation with a small overburden height (4.2–6m) in weathered marlite. Excavation process optimisation, secondary lining adjustments, and cut-and-cover sections brought time and financial savings. Geotechnical monitoring confirmed the safety and stability of the structure throughout construction. The realisation of the project supports the suitability of a combination of excavated and cut-and-cover technologies while maintaining operational safety and minimising the impact on the surrounding area. For this project, the contract owner decided to deploy the BIM method (information modelling/construction management) already from the phase of design preparation, including the implementation of the utility tunnel and substation itself.

1. ÚVOD

Na konci listopadu roku 2024 byla podepsána smlouva mezi objednatelem a hlavním dodavatelem stavby kolektoru Hangár G a trafostanice TS20, jejímž cílem je zlepšení budoucí infrastruktury na největším letišti v ČR. Neprodleně, v prosinci téhož roku, byly zahájeny archeologické a přípravné práce pro výstavbu tak, aby mohla být tato část kolektoru uvedena do provozu na konci léta roku 2026.

Objednatelem projektu je státem vlastněná organizace Letiště Praha, a.s., hlavním zhotovitelem stavby je Metrostav CZ s.r.o., generálním dodavatelem projektové dokumentace je projekční společnost INGUTIS, spol. s r.o. Při výstavbě ražené části v rámci činnosti prováděné hornickým způsobem (ČPHZ) provádí činnost báňského projektanta společnost SAGASTA s.r.o. Technický dozor stavby zajišťuje sdružení firem SGS Czech Republic, s.r.o. (lídr sdružení), SG Geotechnika, a.s., Pragoprojekt, a.s. a INFRAM, a.s. Je rovněž vhodné doplnit, že hlavní realizační činnosti při výstavbě kolektoru HG a trafostanice TS20 provádí následující poddodavatelé: veškeré armovací a betonářské práce v hloubené

1. INTRODUCTION

By the end of November 2024, a contract was signed between the contract owner and leading contractor for the Hangár G utility tunnel and TS20 substation, with the aim of improving future infrastructure at the largest airport in the Czech Republic. Immediately, in December of the same year, archaeological and preparatory work began for the construction so that this section of the utility tunnel could be put into operation by the end of summer 2026.

The contract owner of the project is the state-owned organisation Letiště Praha, a.s., with the leading contractor being Metrostav CZ s.r.o., and the general contractor for design documentation is the design company INGUTIS, spol. s r.o. Throughout the construction of the excavated section as part of activities conducted in a mining-like way (ČPHZ), the mine designer role is filled by the company SAGASTA s.r.o. Technical supervision of the construction is secured by an association of the following companies: SFS Czech Republic, s.r.o. (association leader), SG Geotechnika, a.s., Pragoprojekt, a.s., and INFRAM, a.s. It

části realizuje HOCHTIEF CZ, a.s., veškeré zemní práce zajišťuje BIGGEST s.r.o. a ražby kolektoru, včetně vybudování sekundárního ostění kolektoru, provádí stavební firma POHL cz, a.s.

1.1 Stručné řešení projektu, jeho účel a důvody

Úvodem je vhodné zmínit, že vlastník pražského letiště v současnosti připravuje velké množství projektů v rámci jeho dopravního rozvoje. Nově budovaný kolektor v areálu mezinárodního letiště v Praze by měl v budoucnu sloužit jako strategická podzemní trasa pro vedení technické infrastruktury mezi terminály T1 a T2 a vedoucí po úplném dokončení až k terminálu T3. Jakmile bude celý kolektor s napojenou samostatnou velkokapacitní trafostanicí TS20 dokončen, bude možné v budoucnu minimalizovat zásahy do povrchů letiště, zajistit podmínky pro údržbu a rozvoj technologií a v neposlední řadě zvýšit provozní spolehlivost a bezpečnost napájení hangárových objektů. Projekt kolektoru je investorem rozvržen do několika etap. V současnosti se dokončuje první úsek o délce přibližně 600 m, přičemž někdy na konci současné dekády se předpokládá jeho pokračování směrem k terminálu T3, tj. dále na jihovýchod od šachty Š11.

Tento příspěvek pojednává o výstavbě nové trasy kolektoru „Stavba 1 – Hangár G – kolektor“, která navazuje na již provozovanou trasu „Kolektor HTS-Terminál – 2. etapa“ v napojení na stávající šachtu Š6. Na opačné straně dojde prostřednictvím budované šachty Š11 (v blízkosti zpevněné plochy budoucího Hangáru G) k propojení se „Stavbou 2 – Kolektor Sever–Jih“, vedoucí směrem k zmiňovanému terminálu T3. Stavbou kolektoru tak bude propojen hlavní páteří tah inženýrských sítí mezi severní a jižní částí areálu letiště Praha Ruzyně (od T1 a T2 k T3). Výstavba probíhá za plného provozu letiště. Obr. 1 ukazuje celkový pohled z dronu na hloubenou část i TS20.

is also necessary to mention that the main implementation work throughout the construction of the HG utility tunnel and TS20 substation is being carried out by the following subcontractors: all rebar assembly and concrete work in the cut-and-cover section is being realised by HOCHTIEF CZ, a.s., all earthwork is secured by BIGGEST s.r.o., and utility tunnel excavation, including the construction of the utility tunnel secondary lining, is being carried out by the POHL cz, a.s. construction company.

1.1 Brief project solution, its purpose, and reasoning

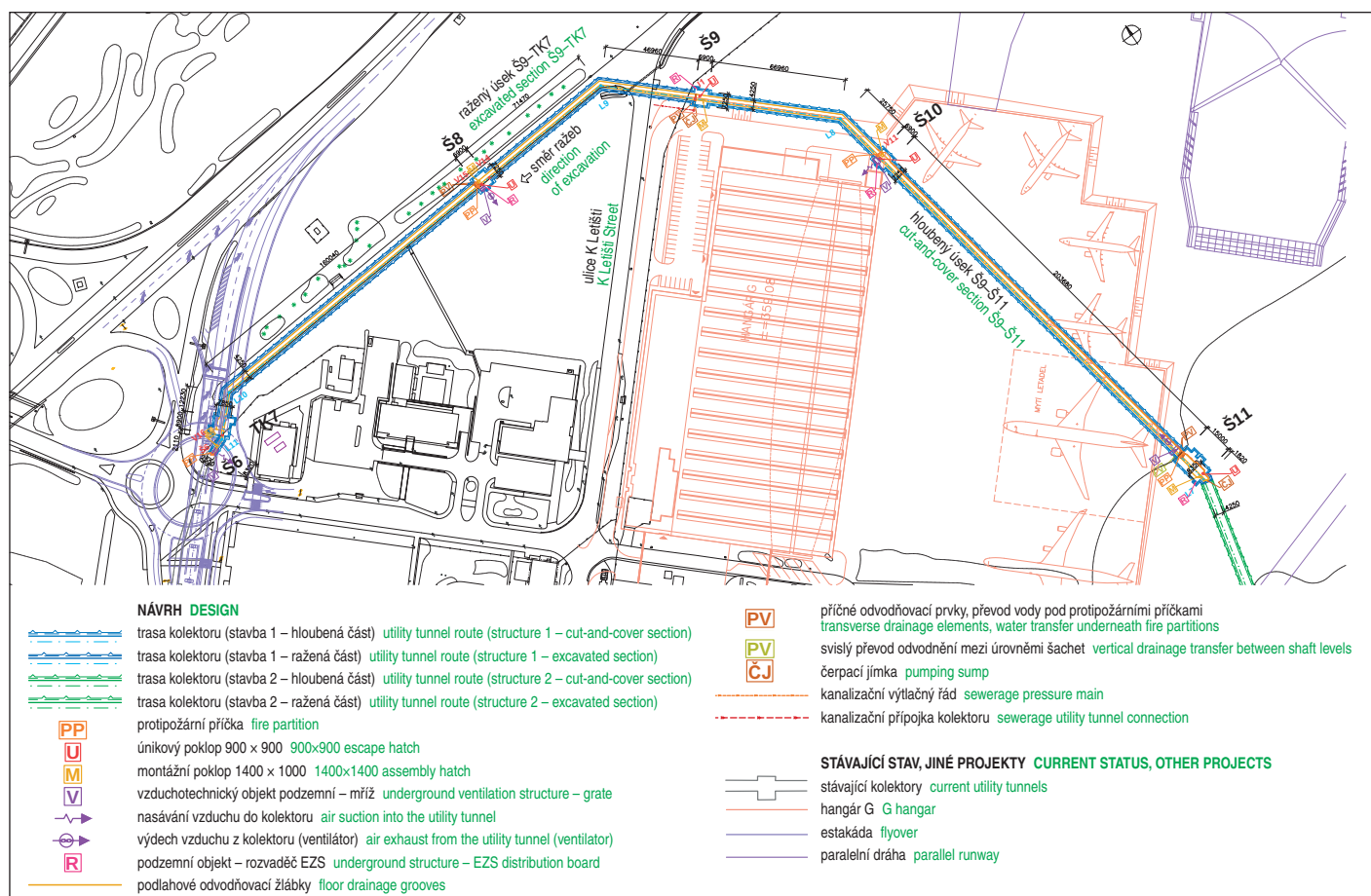
To begin, it is appropriate to mention that today, the owner of the Prague airport is preparing a large number of projects as part of its transportation development. The newly constructed utility tunnel at the international airport compound in Prague should, in the future, serve as a strategic underground route for the routing of technical infrastructure between terminals T1 and T2, and after a complete finish up to the T3 terminal. As soon as the entire utility tunnel connected to the high-capacity TS20 substation itself is finished, it will be possible to minimise infringements to the airport surfaces in the future, to secure conditions for maintenance and development of technologies, and finally to increase operational reliability and safety of the power supply for hangar structures. The utility tunnel project is divided by the contract owner into multiple phases. Currently, the first section is being completed with a length of approximately 600m, whilst somewhere towards the end of this decade, its continuation towards the T3 terminal is expected, i.e., further southeast from the Š11 shaft.

This contribution talks about the construction of the new utility tunnel route “Stavba 1 – Hangár G – kolektor”, which follows up on the already in operation route „Kolektor HTS-Terminál – 2. etapa“ by the connection to the current Š6 shaft. On the other side, thanks



Obr. 1 Celkový pohled z dronu na výstavbu hloubené části kolektoru
Fig. 1 Drone overview of the cut-and-cover utility tunnel section construction

zdroj: dron objednatel source: drone of the contract owner



zdroj: [1] source: [1]

Obr. 2 Situace stavby kolektoru

Fig. 2 Layout plan of the utility tunnel construction

Současná etapa výstavby kolektoru HG a TS20 je tedy situovaná na severovýchodním okraji zástavby celého komplexu letiště v jeho ochranném pásmu a napojuje se na již stávající kolektor u HTS (hlavní trafostanice) v šachtě Š6. Část stavby je umístěna ve veřejně přístupném prostoru letiště u ulice K Letišti. Zde v místě napojení na stávající kolektor je budována technická komora (TK7), která je napojena na raženou část kolektoru HG. Po necelých 300 m přechází trasa v nově hloubené šachtě Š9 do hloubené části kolektoru, jenž končí v nově vybudované šachtě Š11, odkud bude celý kolektor přes propojovací chodbu spojen s novou trafostanicí TS20. Celý koncept projektu a propojení se stávající infrastrukturou ukazuje situace na obr. 2. Hloubená část kolektoru byla zahájena v neveřejném prostoru letiště (zóna SRA – Security Restricted Area), avšak v průběhu stavby byla z důvodu bezpečnostních pravidel letiště ze zóny SRA dočasně vyňata.

2. PROJEKČNÍ ŘEŠENÍ A GEOLOGICKÉ PODMÍNKY STAVBY

2.1 Příprava projektu a změny vedoucí k optimalizaci řešení

Kolektor HG je budován dvěma rozdílnými metodami. První část je realizována jako ražená pomocí NRTM, a to z důvodu křížení několika inženýrských sítí, jejichž přeložení by bylo technicky i provozně komplikované (plyn, vodovod, kanalizace apod.), a rovněž z důvodu křížení frekventované letištní veřejné komunikace, která obsluhuje komplex terminálů T1 a T2. Druhá část kolektoru je prováděna jako hloubená v otevřené svaňované stavební jámě, kde byla konstrukce kolektoru založena na základové desce a posléze zasypána. Ražený kolektor má vnitřní rozměry sekundárního ostění

to the under-construction Š11 shaft (near a paved surface of the future G hangar), a link will be made to the „Stavba 2 – Kolektor Sever–Jih“, leading towards the already mentioned T3 terminal. By way of constructing the utility tunnel, the main backbone route of engineering networks will be connected between the northern and southern parts of the Prague Ruzyně airport compound (from T1 and T2 towards T3). The construction is underway alongside full operational of the airport. Fig. 1 portrays a drone view of the entire cut-and-cover section and even the TS20.

The current phase of HG and TS20 utility tunnel construction is therefore situated by the northeastern edge of the built-up area of the entire airport compound in its protection area and connects to the current utility tunnel by the HTS (main substation) in the Š6 shaft. A section of the structure is placed in a publicly accessible airport area at the K Letišti street. Here, where the connection with the present utility tunnel is made, a technical chamber (TK7) is being built, which is connected to the excavated section of the HG utility tunnel. After just under 300m, the route transitions to the cut-and-cover section in the newly excavated Š9 shaft, subsequently terminating in the newly built Š11 shaft, from which the entire utility tunnel will be connected to the new TS20 substation through a connecting corridor. The entire project concept and connection to current infrastructure is shown on a layout plan in Fig. 2. The cut-and-cover section of the utility tunnel started in a non-public area of the airport (SRA zone – Security Restricted Area), although throughout construction it was temporarily removed from the SRA zone due to safety rules of the airport.

4,25 × 4,10 m. Vnitřní rozměry hloubeného kolektoru mezi šachtami Š9–Š11 jsou 4,25 × 3,6 m.

Při zahájení výkopových prací (v 02/2025), a po vyhodnocení všech dostupných informací o geotechnických podmínkách v trase kolektoru, představil hlavní dodavatel stavby optimalizaci projektu pro realizaci ražeb v primárním i sekundárním ostění, obdobně pak i optimalizaci postupu výstavby kolektoru z povrchu. V obou případech se jednalo o zjednodušení postupu výstavby oproti zadávací dokumentaci. Významným přínosem uvedených změn byly časové a finanční úspory. V prvním případě se jednalo jednak o optimalizaci postupu ražby a realizaci primárního ostění, dále návrh dodavatele obsahoval optimalizaci tvaru příčného řezu kolektoru a s ním souvisejících dimenzí sekundárního ostění. Nejvýznamnější změnou ražené části kolektoru byla optimalizace příčného řezu, která umožnila vypustit vertikální členění kaloty a dočasnou protiklenbu kaloty. Dále byly upraveny výztužné rámy primárního ostění ze čtyřprutových na tříprutové, včetně zmenšení tloušťky prutů rámu. Optimalizovaný návrh ražeb obsahoval i změnu kotvení a pažení čelby, které bylo dále odlehčeno v souladu s principy observační metody i při samotné ražbě. V neposlední řadě byl pro realizaci oproti původnímu návrhu odstraněn plánovaný průzkumný horizontální vrt délky 20 m (vše detailně popsáno v příspěvku báňského projektanta v tomto čísle Tunelu).

Cílem optimalizace tvaru příčného řezu kolektoru a tloušťky jeho ostění bylo zmenšení teoretické plochy výrubu a dosažení příznivějšího tvaru primárního ostění, který lépe vzdoruje zemnímu tlaku, zvyšuje stabilitu díla při ražbě a snižuje tak riziko vzniku mimořádné události.

Optimalizovaný tvar umožňuje příznivější namáhání konstrukce a snižuje riziko vzniku trhlin v sekundárním ostění, které kromě nosné funkce zajišťuje i hydroizolace kolektoru. Trhliny, které je možné sanovat pouze na líci ostění, mohou mít vzhledem k riziku koroze výztuže negativní vliv nejen na vodotěsnost, ale především na životnost nosné konstrukce, která je požadována 100 let. Minimální hodnoty tloušťky primárního a sekundárního ostění se oproti zadávací dokumentaci nezměnily. Pro názornost je na obr. 3 ukázán rozdíl mezi optimalizovaným příčným řezem raženého kolektoru a návrhem v zadávací dokumentaci.

2.2 Zastižené geologické a hydrogeologické poměry

2.2.1 Předpoklad inženýrskogeologických poměrů stavby

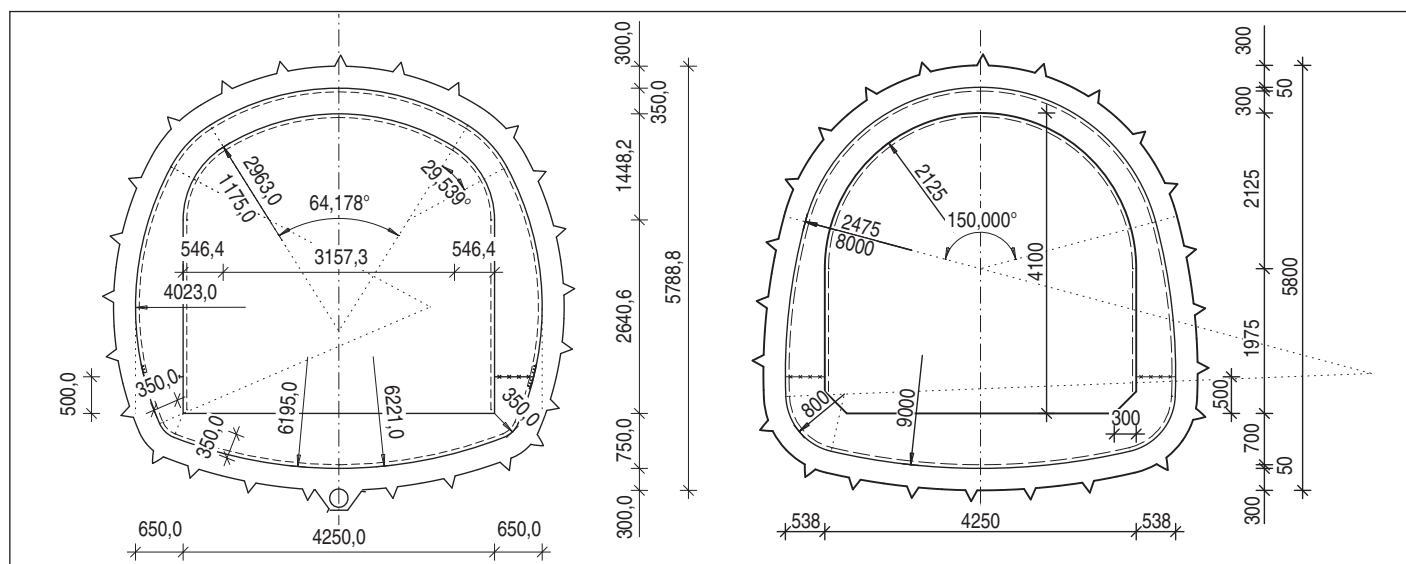
Na geologické stavbě zájmového území se podílejí především sedimenty křídý, spočívající na horninách staršího paleozoika (povrch

2. DESIGN SOLUTION AND GEOLOGICAL CONDITIONS OF THE CONSTRUCTION SITE

2.1 Design preparation and changes leading to an optimised solution

The HG utility tunnel is being built by two different methods. The first section is being excavated using NATM for the reason of crossing multiple engineering networks, the rerouting of which would be technically and even operationally complicated (gas, water main, sewerage, etc.), and likewise due to the crossing of a busy airport public road that serves the T1 and T2 terminal compounds. The second utility tunnel part is cut-and-cover in an open sloped construction pit, where the utility tunnel structure was concreted on a foundation slab and subsequently backfilled. The excavated utility tunnel has inner secondary lining dimensions of 4.25x4.10m. The inner dimensions of the cut-and-cover utility tunnel between shafts Š9–Š11 are 4.25x3.6m.

While commencing earthwork (in 02/2025) and after evaluating all available information regarding geotechnical conditions in the utility tunnel route, the main construction contractor presented design optimisation for excavation and construction of primary and even secondary lining, likewise the optimisation of the utility tunnel construction process from the surface. Both cases represented a simplification of construction processes in comparison to tender documentation. An important benefit of the mentioned changes was time and financial savings. First and foremost, it consisted of not only optimising the course of excavation and the construction of primary lining, but also the proposal of the contractor included the optimisation of the cross-section shape of the utility tunnel, and with that, the dimension of secondary lining. The most significant change of the excavated section of the utility tunnel was the optimisation of the cross section, which made it possible to leave out vertical excavation sequencing of the top heading and a temporary top heading invert. Then, reinforcement lattice girders for the primary lining were altered, from four-bar to three-bar, including thinner lattice girder bars. The optimised excavation design also included a change in spiling and support of the face, which was then reduced in correlation to the principles of the observational method, even during the excavation itself. Finally, a planned exploratory horizontal bore with a length of 20m was removed in comparison to the original design (all is described in detail in a contribution from the mine designer in this edition of the Tunel journal).



Obr. 3 Příčný řez raženým kolektorem, vlevo původní návrh, vpravo optimalizované řešení

Fig. 3 Cross section of the excavated utility tunnel, on the left the original design, on the right the optimised solution

zdroj: [2] source: [2]

břidlic ordoviku v hloubce 30 až 43 m pod terénem). V nadloží křídových hornin jsou kvartérní sedimenty, převážně spraše a sprašové hlíny. Křídové horniny jsou zastoupeny vrstvami cenomanských a turonských sedimentů. V rámci cenomanské sedimentace se jedná nejprve o perucké vrstvy (především jílovce) a nadložní korycanské vrstvy marinního původu (pískovce). Následně počátkem spodního turonu došlo k sedimentaci spongilitických slínovců (opuk) bělohorského souvrství. Turonské slínovce tvoří povrch skalního podloží v celém zájmovém území. Jejich báze se nachází v hloubce mezi 19 až 28 m pod terénem a jejich povrch mezi 1,0 až 8,0 m pod terénem (převážně okolo 5 m). Hladina podzemní vody je mírně napjatá a nachází se v hloubce cca 22 až 28 m pod terénem. Severní oblast území (cca část mezi šachtami Š9 a TK7) je odvodňována ve směru SSV do údolí Únětického potoka.

2.2.2 Zastižené geotechnické podmínky při ražbě kolektoru

Ražba probíhala převážně v prostředí křídových písčitých slínovců – opuk, při povrchu silně zvětralých. Hornina byla hnědoběžová až světle žluté barvy, mírně až silně zvětralá (stupeň zvětrání W3–W4), místy navětralá (stupeň zvětrání W2). Horninový masiv byl silně rozpukaný s deskovitou, místy až blokovitou odlučností. Zřetelné byly tři na sebe kolmé systémy diskontinuit s průměrnou roztečí 200–600 mm. Plochy vrstevnatosti V1 měly subhorizontální průběh



Obr. 4 Nezajištěná čelba kaloty z různě zvětralých slínovců při ražbě od šachty Š8 k TK7

Fig. 4 Unsecured top heading face with variously weathered marls during excavation from Š8 shaft towards TK7



Obr. 5 Nezajištěná čelba výrubu kaloty ze sprašových hlín a rozložených slínovců poblíž TK7

Fig. 5 Unsecured top heading excavation face with marlstone loess soils and decayed marls near TK7

The aim of the optimisation of the utility tunnel cross-section and thickness of its lining was to decrease the size of the theoretical excavation area and reach a more advantageous shape of primary lining, which better resists earth pressure, increases stability of the work during excavation, and therefore decreases the risk of a developing emergency event.

The optimised shape enables more favourable structure loading and decreases the risk of cracks forming in the secondary lining, which also secures water tightness of the utility tunnel on top of its load-bearing function. Cracks that can only be rehabilitated on the front face of the lining can have a negative impact due to the risk of rebar corrosion, not only on water tightness, but primarily on the service life of the load-bearing structure, which is 100 years. Minimal values for primary and secondary lining thicknesses did not change in comparison to tender documentation. For illustrative purposes, the difference between the optimised cross-section of the excavated utility tunnel and the proposal in the tender documentation is pictured in Fig. 3.

2.2 Encountered geological and hydrogeological conditions

2.2.1 Expected engineering-geology conditions of the construction site

The rock of the Upper Proterozoic and Early Palaeozoic (surface of Ordovician shales at a depth of 30 to 43m below surface) makes up the geological structure of the location of interest, along with Cretaceous sediments, and then Quaternary deposits. Cretaceous rock is represented by layers of Cenomanian and Turonian sediments. Within Cenomanian sedimentation, first there are Perucké layers (primarily claystones) and the superstratum Korycany layers of a marine origin (sandstones). Then, at the beginning of the Lower Turonian, the sedimentation of spongolite marl (opoka) of the Bílá Hora formation occurred. Turonian marlstone forms the bedrock surface in the entire area of interest. Their base is found at a depth between 19 and 28m below terrain, and their surface between 1.0 and 8.0m below terrain (mostly around 5m). The groundwater level is slightly confined and is located at a depth of approximately 22 to 28m below terrain. The northern part of the area (ca. section between shafts Š9 and TK7) is drained in the NNE direction into the Únětice brook valley.

2.2.2 Geotechnical conditions encountered during utility tunnel excavation

The excavation took place primarily in an environment of Cretaceous sandy marlstone – opoka, which was highly weathered at the surface. The rock was brown, beige to light yellow in colour, moderately to highly weathered (weathering grade W3–W4), locally slightly weathered (weathering grade W2). The rock massif was highly broken with platy and locally even blocky jointing. Three perpendicular systems of discontinuities were distinct, with an average distance of 200–600mm. V1 bedding planes had a subhorizontal course with an angle of 0–25°. P1 fissures were inclined towards NE–SW at an angle of 60–75° and P2 fissures were inclined towards E at an angle of 60–70°. The fissures were filled by brown sandy clay, which originated in the overburden layers of loess loam. The rock had a very low to low strength of R5–R4. The excavation was fairly stable, although in places where the route bends, significant rockfall occurred in the vault. However, this did not repeat itself in the straight excavation section, where the rate of healthy to weathered rock once again increased (Fig. 4).

Starting at chainage km 141.7 (TM 15.6) between shafts Š8 and TK7, completely weathered marlstone was encountered at the ceiling

s velikostí sklonu 0–25°. Pukliny P1 byly ukloněny k SV–JZ pod úhlem 60–75° a pukliny P2 byly ukloněny k V pod úhlem 60–70°. Výplň puklin byla tvořena hnědým písčitým jílem, jehož původ pochází z nadložních vrstev sprašových hlín. Hornina byla velmi nízké až nízké pevnosti R5–R4. Výrub byl vcelku stabilní, avšak v zalomení trasy docházelo v kalotě k výrazným opadům v klenbě. Ty se naopak neopakovaly v rovném úseku ražby, kde se poměr zdravé vůči zvětřalé hornině opět zvýšil (obr. 4).

Od staničení km 141,7 (TM 15,6) mezi šachtami Š8 a TK7 byl v přístropí kaloty zastížen zcela zvětřalý slínovec (stupeň zvětrání W5) charakteru jílu, s hojnými úlomky mateční horniny velikosti 3 až 15 cm. V průběhu ražby a přibližování se k šachtě TK7 byl dokumentován zvyšující se podíl zcela zvětřalé horniny až charakteru zeminy ve vrchní části kaloty. Konkrétně se nakonec jednalo o spraše a sprašové hlíny charakteru jílu se střední plasticitou (F6 CI), hnědé až okrové barvy. Podíl takto charakterizovaného materiálu na konci ražby činil v maximu až zhruba 2/3 výrubu (obr. 5). Výrub byl zavlhlý, soustředěné přítoky podzemní vody nebyly zjištěny. Profil výrubu kaloty byl v případě potřeby z důvodu stability a bezpečnosti těžen postupně na tři až čtyři dílčí výruby. Výrub byl dočasně stabilní [6].

2.3 Realizovaný geotechnický monitoring

Geotechnický monitoring (dále jen GTM) byl navržen a realizován v souladu s principy observační metody NRTM s cílem průběžně ověřovat předpoklady projektové dokumentace, sledovat chování horninového masivu a včas identifikovat případné nepříznivé jevy spojené s nízkým nadloží ražené části kolektoru. Zvláštní důraz byl kladen na minimalizaci vlivů ražby na povrchová zařízení letiště a na křížené inženýrské sítě.

Kontrolní sledování při ražbě zahrnovalo zejména:

- sledování konvergencí primárního ostění;
- inženýrskogeologickou dokumentaci čelby a vizuální kontrolu ostění;
- měření deformací povrchu terénu;
- sledování sedání ovlivněných konstrukcí (včetně šachet) a komunikací;
- měření sil na kotvách v hloubených šachtách dynamometry.

Na obr. 6 je uvedena ilustrační situace GTM mapového rozhraní (GIS) z Informačního systému monitoringu (ISM), který byl na tomto projektu využit poskytovatelem GTM. Jednotlivá měření probíhala v pravidelných intervalech, které byly zpřesňovány v závislosti na aktuálním vyztužení výrubu a vzdálenosti čelby od sledovaného profilu. Naměřené hodnoty byly průběžně vyhodnocovány a porovnávány s předem stanovenými mezními hodnotami. V žádném případě nebyly zaznamenány hodnoty, které by vyžadovaly aktivaci havarijních scénářů. Jelikož zastížené prostředí různě zvětřalých slínovců až spraší bez zastížených přítoků vody bylo ve většině případů dočasně stabilní, při interakci mezi všemi zúčastněnými partnery docházelo při ražbě k odlehčování výztuže primárního ostění, případně k mírnému prodloužení záběru na čelbě.

Velká pozornost byla věnována rizikovým místům, která čítala podchod ražbou pod veřejnou komunikací, a především dvojnásobný podchod kaloty pod vysokotlakým a středotlakým plynovým potrubím, které bylo lokalizováno v místě, kde nadloží činilo necelých 5 m. V těchto místech nebylo samozřejmě aplikováno odlehčené vyztužení navržené během ražeb báňským projektantem.

Výsledky monitoringu potvrdily správnost zvoleného technologického postupu i optimalizovaného návrhu primárního a sekundárního ostění. Chování horninového masivu i podzemní konstrukce odpovídalo předpokladům a deformace zůstaly v mezích přípustných hodnot, což umožnilo plynulé pokračování ražeb bez nutnosti dodatečných sanačních opatření. Výsledky geotechnického

of the top heading (weathering grade W5) with characteristics of clay and plentiful rock shards of sizes from 3 to 15cm. Throughout excavation and the approach towards shaft TK7, an increasing share of completely weathered rock almost with characteristics of soil was documented in the upper part of the top heading. In the end, those were loess and loess loams with characteristics of clay and medium plasticity (F6 CI), brown to ochre in colour. The ratio of such characterised material formed at most roughly 2/3 of the excavation by the end of excavations (Fig. 5). The excavation was moist, and concentrated groundwater inflows were not discovered. If necessary, due to stability, the top heading excavation profile was excavated gradually with three to four partial excavations. The excavation was temporarily stable [6].

2.3 Conducted geotechnical monitoring

Geotechnical monitoring (hereinafter GTM) was designed and carried out in harmony with the principles of the NATM observation method, the aim being to continually verify assumptions made by design documentation, to monitor the behaviour of the rock massif, and to quickly identify potential unfavourable occurrences linked to the shallow overburden of the excavated section of the utility tunnel. Special emphasis was put on minimising the impact of excavation on surface airport facilities and crossing engineering networks.

Verification monitoring during excavation mainly included:

- primary lining convergence monitoring;
- engineering geology face documentation and visual lining checks;
- surface deformations measuring;
- settlement of impacted structures (including shafts) and roads observation;
- forces on anchors in cut-and-cover shafts measured using a dynamometer.

Fig. 6 depicts an illustrative GTM map interface (GIS) layout plan from the Monitoring Information System (ISM), which was utilised for this project by the supplier of the GTM. Individual measurements took place in regular intervals that were refined in relation to current excavation reinforcement and the distance of the face from the observed profile. Measured values were continually evaluated and compared to previously determined limit values (trigger levels). Values that would require the activation of emergency scenarios were never recorded. Since the encountered environment of differently weathered siltstones to loess without water inflows was, in most cases, temporarily stable, it allowed for the primary lining reinforcement to lighten up or to slightly increase the advance length at the face during interactions between all participating partners.

Great emphasis was placed on risky areas that included an excavation located underneath a public road and primarily a double crossing of the top heading underneath a high-pressure and medium-pressure gas pipeline, which was in a place where the overburden reached barely 5m. Of course, the lighter reinforcement designed by the mine designer throughout construction was not utilised in these areas.

Monitoring results confirmed the rightness of the chosen technological approach and even the optimised design for primary and secondary lining. The behaviour of the rock massif and underground structure corresponded to assumptions, and deformations remained within bounds of reasonable values, which facilitated smooth continuation of the excavation without the need for additional rehabilitation measures. Geotechnical monitoring results were also key for decision-making in terms of the extent of primary lining optimisation during excavation, and finally, they were used as a basis for finalising the design of the utility tunnel secondary lining.



zdroj: <https://siisel.cz/Project/Edit/55#gis-map> source: <https://siisel.cz/Project/Edit/55#gis-map>

Obr. 6 Uspořádání prvků GTM v ISM SIISEL (GIS)

Fig. 6 GTM components layout in ISM SIISEL (GIS)

monitoringu byly zároveň klíčovým podkladem pro rozhodování o rozsahu optimalizací primárního ostění během ražby a v neposlední řadě sloužily jako podklad pro finalizaci návrhu sekundárního ostění kolektoru.

2.4 Identifikace rizik

Identifikovaná rizika byla v průběhu přípravy i realizace stavby průběžně vyhodnocována a řízena prostřednictvím kombinace technických, organizačních a bezpečnostních opatření. Klíčovým prvkem bylo uplatnění principů observační metody při ražbě, které umožnilo operativně reagovat na skutečně zastižené geotechnické podmínky, zejména v úsecích s nízkým nadložím a výskytem zcela zvětralých (rozložených) slínovců a spraší. Zvýšená pozornost byla věnována raženým úsekům pod frekventovanou letištní komunikací a v blízkosti strategických inženýrských sítí, kde byla přijata opatření směřující k omezení deformací horninového masivu a minimalizaci vlivů na povrch. Rizika spojená s logistikou a pohybem techniky v areálu letiště byla eliminována důslednou koordinací se zástupci investora a provozovatele letiště, jasným vymezením pohybových tras a režimovými opatřeními v zónách SRA a NON SRA. U hloubené části kolektoru byla stabilita dočasně svahované stavební jámy zajištěna souborem opatření, jako např. vhodnou geometrií svahů, průběžnou kontrolou jejich stavu a přizpůsobováním postupu výstavby aktuálním geotechnickým podmínkám.

Komplexní přístup k identifikaci a řízení rizik byl jedním z rozhodujících faktorů, které umožnily realizaci ražené části kolektoru bez mimořádných událostí a při zachování plného provozu letiště.

3. REALIZACE RAŽENÉHO KOLEKTORU

3.1 Postup ražené části včetně přípravy

Ražená část dosahuje délky 299 m, zbylá část kolektoru (mezi Š9 a Š11) je budována v otevřené hloubené stavební jámě. Raženou část, zahájenou v červnu 2025, ohraničují budované šachty TK7

2.4 Risk identification

Identified risks were continually evaluated and managed throughout preparation and construction by way of a combination of technical, organisational, and safety measures. A key element was the utilization of observation method principles during excavation, enabling operative reactions to actually encountered geotechnical conditions, primarily in sections with low overburden height and occurrences of completely weathered (decayed) marlstones and loess. Special attention was given to excavated sections below a busy airport road and in the vicinity of strategic engineering networks. Here, measures were put into place, leading to limited deformations of the rock massif and minimising the influence on the surface. Risks tied to logistics and machinery movement at the airport compound were eliminated by thorough coordination with representatives of the contract owner and airport administrator, clear laying out of movement routes, and regime measures in SRA and NON SRA zones. As for the cut-and-cover section, the stability of the temporarily sloped construction pit was secured by an array of measures, such as suitable slope geometry, continuous verification of its state, and adapting the construction process to current geotechnical conditions.

A complex approach to risk identification and management was one of the deciding factors that enabled the implementation of the excavated utility tunnel section without unexpected incidents and while maintaining full airport operation.

3. IMPLEMENTATION OF THE EXCAVATED UTILITY TUNNEL

3.1 Excavated section procedures including preparation

The excavated section has a length of 299m; the remaining utility tunnel section (between Š9 and Š11) is being built in an open trench construction pit. The excavated section, initiated in June of 2025, is separated by under-construction shafts TK7 (connected to Š6) and Š9. The most widely used conventional excavation method

(napojená na Š6) a Š9. Pro ražbu byla navržena v ČR nejvíce používaná konvenční ražba (NRTM) s mechanickým rozpojováním a výstavbou primárního a sekundárního ostění. Na základě principů observační metody (resp. skutečně zastižených geotechnických vlastností hornin a zemin) byly upřesňovány předpokládané rozsahy navržené třídy NRTM. Ražba byla členěna horizontálně na kalotu a opěři se spodní klenbou. Primární ostění bylo navrženo ze stříkaného betonu, KARI sítě a příhradových rámu v osových vzdálenostech odpovídajících skutečně zastiženým geologickým podmínkám. Ražený profil tunelu o ploše zhruba 30 m² je podkovovitého tvaru se spodní klenbou a má rozměry 5,9 × 5,8 m. Sekundární ostění kolektoru je navrženo z vodostavebního betonu a bylo prováděno pomocí pojízdného bednění v blocích o délce 10 m. Ražená část kolektoru prochází pod nadloží necelých 6 m, při napojení do TK7 se nadloží vlivem sklonu kolektoru snižuje a dosahuje zhruba 4 m, což s sebou přinášelo různá rizika při výstavbě. Prorážka ražené části v kalotě mezi šachtami Š9 a Š8 se uskutečnila v první dekádě měsíce října 2025. Následné dokončení ražeb kaloty prorážkou do TK7 bylo realizováno o zhruba měsíc později, v listopadu 2025. Následně bylo zahájeno budování sekundárního ostění dle aktualizovaného projektu.

Pro úspěšné zahájení ražeb musely být nejprve vyhloubeny a zajištěny projektované šachty Š8 a Š9 s hloubkou přesahující dno kolektoru. Nakonec, z důvodu komplikovaných přeložek všech inženýrských sítí, byla realizována technická komora TK7, v místě napojení na dříve vybudovanou část kolektoru (šachta Š6). Všechny tyto nově budované šachty byly dočasně zajištěny pomocí záporových stěn s ocelovými převážkami, dřevěným pažením a lanovými kotvami ve třech úrovních. Jako první byla zajištěna šachta v přístupné části stavby (mimo SRA), aby zde mohla být začátkem června 2025 zahájena ražba směrem k TK7. Posléze se dokončila v dočasné konstrukci šachta Š9, aby i zde v červenci roku 2025 mohly být zahájeny ražby další osádkou dodavatele. Podzemní práce byly na všech výrubech prováděny v časovém režimu 24/7, aby čelba postupovala dle realizační dokumentace plynule a bylo možné využít výhody NRTM. Až v říjnovém termínu byla vzhledem ke zmiňovaným komplikacím zajištěna TK7, která byla právě včas připravena pro spojení

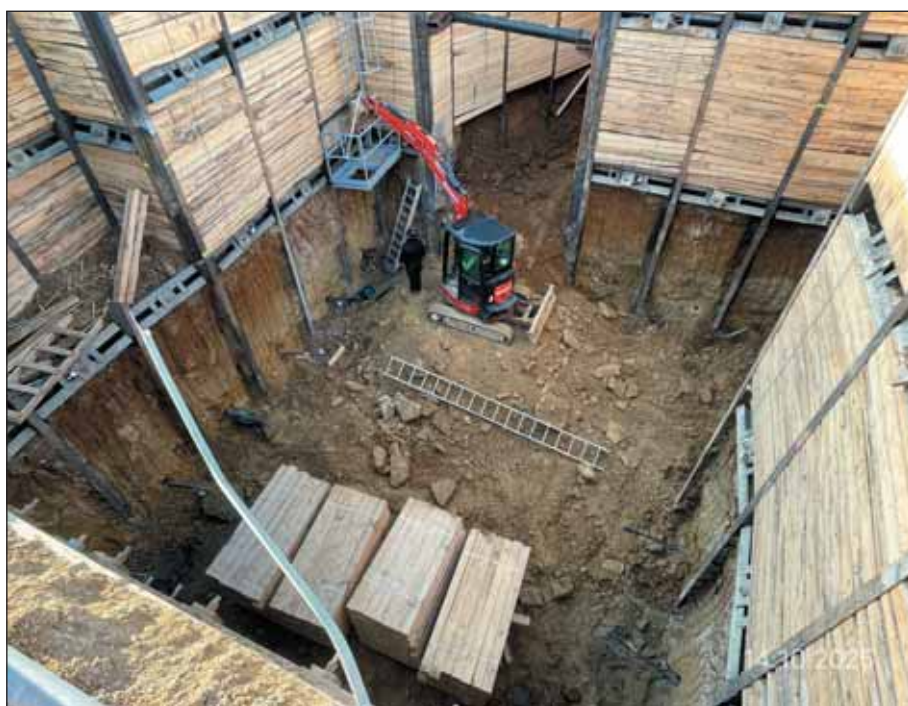
in the Czech Republic (NATM) was proposed for the excavation with mechanised rock breaking and primary and secondary lining construction. Based on observational method principles (i.e., actually encountered geotechnical properties of rock and soil), the expected range of the designed NATM class was specified. The excavation was divided horizontally into a top heading and a bench with an invert. Primary lining was designed as sprayed concrete with KARI wire mesh and lattice girders with axial spacing corresponding to the actually encountered geological conditions. The profile of the excavated tunnel with an area of approximately 30m² is horseshoe-shaped with a lower invert and has dimensions of 5.9×5.8m. Secondary lining of the utility tunnel is designed from hydraulic-construction concrete and was executed in 10m long blocks using a formwork traveller. The excavated section of the utility tunnel crosses beneath an overburden of less than 6m. By the connection to the TK7, the overburden decreases due to the angle of the utility tunnel and reaches approximately 4m, which created various risks during construction. The breakthrough of the excavated top heading between shafts Š9 and Š8 took place in the first decade of the month of October 2025. Then, the completion of the top heading excavation took place roughly a month later in November 2025 by way of a breakthrough into the TK7 shaft. Subsequently, secondary lining construction began according to the updated design.

Before successfully commencing excavations, designed shafts Š8 and Š9 with a depth exceeding the invert of the utility tunnel had to be excavated and secured. Due to complicated relocations of all engineering networks, in the end, the TK7 technical chamber was implemented, where it connects to the previously built utility tunnel section (Š6 shaft). All these newly built shafts were temporarily secured using soldier piles with steel waling, wooden bracing, and cable anchors on three levels. The first one secured was a shaft in the accessible part of the construction (excluded from the SRA), so excavation towards the TK7 could start here by the beginning of June 2025. Subsequently, the Š9 shaft was finished in a temporary structure, so even here, another crew of the contractor could begin excavation in July of 2025. Underground work on all excavations carried on continuously 24/7, so that the face would advance smoothly according to the implementation documentation, and so that NATM advantages could be used. Due to the previously mentioned complications, it was not until the October deadline came that the TK7 was secured, and it was prepared for the connection with the excavated utility tunnel just in time. Fig. 7 depicts the process of TK7 shaft construction and securing.

An important aspect of successful implementation was close cooperation between the contractor, mine designer, and technical supervisor of the contract owner. Owing to the operative evaluation of actually encountered conditions, it was possible to flexibly adjust technological excavation procedures whilst maintaining the safety of the structure and the surrounding area.

3.2 Continuous activities of TDS members

For this project, a team of experts – technical supervisors were contracted by the contract owner, each one having particular necessary specialities. That included primarily



Obr. 7 Postup zajišťování hloubené šachty TK7

Fig. 7 Technique of securing the cut-and-cover TK7 shaft

s raženým kolektorem. Obr. 7 uvádí postup budování a zajišťování šachty TK7.

Významným faktorem úspěšné realizace byla úzká spolupráce mezi zhotovitelem, báňským projektantem a technickým dozorem investora. Díky operativnímu vyhodnocování skutečně zastížených podmínek bylo možné flexibilně upravovat technologické postupy ražby při zachování bezpečnosti díla i okolního prostředí.

3.2 Průběžná činnost členů TDS

Pro tento projekt byl investorem zasmulován tým odborníků – technických dozorů v jednotlivých potřebných specializacích. Jednalo se především o kontrolu kvality betonových konstrukcí, správného postupu při budování elektrických instalací (slaboproud a silnoproud), ekonomickou kontrolu během výstavby, statické posuzování navržených konstrukcí, geotechnická posouzení všech povrchových geotechnických konstrukcí nebo koordinace s BIM modely. Členem týmu technických dozorů byl rovněž specialista na podzemní stavby, jenž dozoroval raženou část, která byla realizována pod dozorem báňské legislativy (ČPHZ). Součástí takto strukturovaného týmu dozorů byl i koordinátor BOZP na staveništi dle platných předpisů. Vzhledem k tomu, že celý tento projekt byl navržen a realizován v prostředí informačního modelování staveb, byl i specialista – BIM manažer zahrnut do týmu TDS.

Při ražbě byl týmem TDS nastaven kontrolní postup tak, aby byly průběžně zachyceny všechny cykly zmiňované metody při nepřetržitém provozu a samozřejmě aby byla kontrolována kvalita a bezpečnost prováděných prací i kvalita materiálů, včetně aplikace stříkaných betonů. Objednatelem byla ještě před zahájením stavby připravena cloudová platforma společného datového prostředí (CDE) „Autodesk Construction Cloud“ (ACC) určená pro sdílení dokumentů, řízení úkolů, odstraňování vad a kontrolu verzí projektové dokumentace a modelů během výstavby. Pracovníci TDS dále využívali při své práci elektronický stavební deník, kde byly ukládány veškeré záznamy z jejich kontrol a z činností dodavatele. Jednotliví členové supervize kontrolovali a odsouhlasovali postupné dílčí kroky a etapy výstavby, aby projekt pokračoval bez prostojů a v potřebné kvalitě. Zároveň byli tito členové důležitým článkem při posuzování změn nastalých z různých potřeb výstavby.

Vedle běžné kontroly kvality materiálů a provádění konstrukcí zajišťoval tým TDS také průběžné sledování geotechnických a konstrukčních parametrů, vyhodnocoval výsledky geotechnického monitoringu, vyjadřoval se k úpravám postupu ražby a koordinoval činnosti všech účastníků stavby, včetně poddodavatelů. TDS rovněž kontroloval dodržování legislativních a bezpečnostních předpisů (rovněž v rámci ČPHZ), včetně kontrolního schvalování odlehčeného primárního i sekundárního ostění kolektoru. Klíčová byla role při operativní komunikaci mezi báňským projektantem, zástupcem investora a zhotovitelem, což umožnilo flexibilní reakce na skutečně zastížené geotechnické podmínky, minimalizovalo rizika a zajistilo plynulý postup výstavby ražené části kolektoru.

3.3 Přístup BIM

Jedním z hlavních cílů využití metody BIM bylo vytvoření projektového informačního modelu, jehož nedílnou součástí jsou digitální modely stavby – BIM modely (obsahující 3D geometrii a připojené alfanumerické informace). Komunikace mezi všemi účastníky projektu probíhala řízeným způsobem pomocí společného datového prostředí ACC, které zajišťovalo přesný tok informací a rychlý přístup k aktuálním, tedy platným podkladům. Dalším cílem bylo dosažení efektivní koordinace jednotlivých profesí, řízení změn vznikajících v průběhu výstavby a vytvoření kvalitního podkladu pro budoucí správu a provoz kolektoru. BIM modely byly využívány zejména jako koordinační nástroje při řešení kolizí s existujícími

quality control of concrete structures, correct procedures while constructing electrical installations (low and high voltage current), economic control throughout construction, structural analysis of designed structures, geotechnical assessment of all above-surface geotechnical structures, and coordination with BIM models. Also, a member of the team of technical supervisors was a specialist in underground construction, who supervised the excavated section that was implemented under the supervision of mine legislation (ČPHZ). A part of this structured team of supervisors was also the safety coordinator at the construction site, according to valid legislation. Given that this entire project was designed and implemented inside the building information modelling environment, even a specialist BIM manager was included in the TDS team.

The control process throughout excavations was set by the TDS such that all cycles of the aforementioned method would be constantly recorded during around-the-clock operation, and naturally, such that the quality and safety of executed work and material quality, including the application of sprayed concrete, would be checked. Even before construction began, the contract owner prepared a cloud platform for a common data environment (CDE) called “Autodesk Construction Cloud” (ACC), meant for document sharing, task management, fault removal, and design documentation and model version verification throughout construction. TDS employees then utilised an electronic site diary for their work, where all checks made by them and activities of the contractor were stored. Individual supervision members checked and permitted partial steps and stages of construction, such that the project would continue without idle times and at the required quality. These members also played an important part in assessing changes that arose due to various needs of the construction.

Besides common checks of material and built structures quality, the TDS team also secured continuous monitoring of geotechnical and structural parameters, evaluated geotechnical monitoring results, commented on changes in excavation procedures, and coordinated activities of all participants of the construction, including subcontractors. The TDS likewise kept an eye on adherence to legislation and safety regulations (likewise as part of ČPHZ), including review approvals of the lightened primary and secondary lining of the utility tunnel. A key role was during operative communication between the mine designer, contract owner representative, and contractor, which facilitated flexible reactions to actually encountered geotechnical conditions, risk reduction, and secured a smooth course of construction of the excavated section of the utility tunnel.

3.3 BIM approach

One of the main goals of using the BIM method was creating a design information model with its inseparable element being digital construction models – BIM models (containing 3D geometry and connected alphanumeric information). Communication between all project participants got underway in a controlled manner using the ACC common data environment, which secured a precise flow of information and fast access to current, therefore valid materials. Another goal was reaching effective coordination of individual occupations, managing changes emerging throughout construction, and creating a high-quality foundation for future management and operation of the utility tunnel. BIM models were used mainly as a coordination tool while solving collisions with existing engineering networks and while optimising the design of utility tunnel structures in relation to actually encountered geotechnical conditions. Over the course of implementing the excavated section, authorised design documentation changes were continuously projected into BIM

inženýrskými sítěmi a při optimalizaci návrhu konstrukcí kolektoru v návaznosti na skutečně zastižené geotechnické podmínky. V průběhu realizace ražené části byly do BIM modelů průběžně promítány schválené změny projektové dokumentace, vyvolané aplikací observační metody NRTM, zejména úpravy tvaru příčného řezu kolektoru, dimenzí ostění a samotných postupů ražby. Díky tomu bylo možné udržet jednotný a aktuální přehled o technickém řešení stavby pro všechny zúčastněné strany. Významným přínosem BIM přístupu byla také podpora činnosti TDS (specialista na BIM), který měl k dispozici aktuální digitální model stavby, včetně návaznosti na jednotlivé konstrukční a technologické celky. BIM modely tak sloužily jako doplňkový nástroj při kontrole souladu realizace s projektovou dokumentací, při posuzování změnových řízení a při koordinaci návaznosti jednotlivých stavebních etap, zejména v prostředí aktivního letiště s omezenými možnostmi zásahů do provozu. V neposlední řadě byly BIM modely připravovány s ohledem na budoucí fázi provozu a správy kolektoru. Nyní dokončované digitální modely budou obsahovat strukturovaná data o konstrukčních prvcích, technologických zařízeních a trasách inženýrských sítí. Tato data budou po dokončení stavby sloužit provozovateli letiště jako podklad pro plánování údržby, revizí a dalšího rozvoje technické infrastruktury. Uplatnění BIM přístupu tak představuje důležitý krok k dlouhodobé udržitelnosti a provozní efektivitě podzemních staveb v areálu letiště.

4. ZÁVĚR

Projekt kolektoru Hangáru G a trafostanice TS20 představuje příklad úspěšné realizace podzemní stavby v extrémně náročných podmínkách provozovaného letiště. Kombinace hloubené a ražené technologie, použití metody NRTM a důsledná koordinace všech účastníků umožnily dosažení vysoké technické úrovně stavby při zachování plynulosti letištního provozu.

Realizace kolektoru HG potvrdila, že i při velmi nízkém nadloží budované podzemní konstrukce a v prostředí mezinárodního letiště lze s využitím observační metody NRTM a důsledného geotechnického monitoringu dosáhnout bezpečné a ekonomicky efektivní výstavby. Získané zkušenosti jsou přenositelné i na další podzemní stavby obdobného charakteru nejen v oblasti letištní infrastruktury, ale také v podobném urbanizovaném prostředí s vysokými provozními nároky.

Ing. RADEK BERNARD, Ph.D.,
radek.bernard@geotechnika.cz,

Ing. IVO KOHOUSÉK, ivo.kohousek@geotechnika.cz,
SG Geotechnika a.s.

Recenzoval / Reviewed by: Ing. Jan Korejčík

models, caused by the application of the NATM observation method, mainly modification of the cross-section shape of the utility tunnel, lining dimensions, and excavation processes themselves. Thanks to that, it was possible to maintain a united and current overview of the technical construction solution for all participants. A significant benefit of the BIM approach was also the support of TDS activities (BIM specialist), who had the current construction digital model available, including continuity of individual structural and technological units. BIM models, therefore, served as a supplementary tool while verifying that the implementation is in harmony with design documentation, while assessing modification proceedings, and while coordinating the continuity of individual construction phases, mainly around an active airport with limited options for operational restrictions. Lastly, BIM models were prepared with future utility tunnel operation and management phases in mind. Digital models finished at this point in time will contain structured data regarding structural elements, technological devices, and engineering network routes. This data will serve the airport manager as a foundation for planning maintenance, revisions, and other technical infrastructure development after construction is completed. The utilisation of the BIM approach, therefore, represents an important step towards long-term sustainability and operational effectiveness of underground structures on the airport compound.

4. CONCLUSION

The Hangár G and TS20 substation utility tunnel project represents an example of successful implementation of an underground structure in extremely demanding conditions of an operational airport. A combination of cut-and-cover and excavated technologies, the usage of the NATM method, and thorough coordination of all participants made it possible to reach a high technical level of construction while preserving smooth airport operation.

The implementation of the HG utility tunnel confirmed that even with a very small overburden height of the built underground structure and in the environment of an international airport, it is possible to use the NATM observation method and thorough geotechnical monitoring to achieve a safe and economically efficient construction. Gathered experience is transferable even onto other underground structures with similar characteristics, not only in the field of airport infrastructure but also in a similar urbanised environment with high operational demands.

Ing. RADEK BERNARD, Ph.D.,
radek.bernard@geotechnika.cz,

Ing. IVO KOHOUSÉK, ivo.kohousek@geotechnika.cz,
SG Geotechnika a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] SOCHŮREK, J. a ŠVEC, D. *Statický výpočet, Svahovaná jámy trasy Š9 až Š11*: DPS – Dokumentace pro provádění stavby. Praha: Ingutis, spol. s r.o., 03/2025.
- [1] BALÁŽ, M. a MAŘÍK, L. *Trasy ražené – projekt zpracovaný báňským projektantem – Ražba a primární ostění, Technická zpráva, oddíl 0200*, DPS – Dokumentace pro provádění stavby, Sagasta s.r.o., Praha, 04/2025.
- [2] BERNARD, R. Fotoreportáž z výstavby kabelového kolektoru HG na Letišti Václava Havla v Praze. *Tunel*. 2025, roč. 34, č. 4, s. 44–45. ISSN 1211-0728.
- [3] ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. *Soubor norem ČSN EN ISO 19650. Organizace a digitalizace informací o stavbách a inženýrských dílech včetně informačního modelování staveb (BIM) – Řízení informací pomocí BIM*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2019–2023.
- [4] KOSTOHRÝZ, O. *Projekt geotechnického monitoringu, TZ. Stavby pro energetickou infrastrukturu Stavba 1 – Hangár G – Kolektor 228000 – Kolektor HG*. GeoTec – GS, a.s., Praha 05/2025.
- [5] KOSTOHRÝZ, O. *Závěrečná zpráva GTM. Stavby pro energetickou infrastrukturu Stavba 1 – Hangár G – Kolektor 228000 – Kolektor HG*. GeoTec – GS, a.s., Praha 06/2026.

HOSTIVICKÝ ŽELEZNIČNÍ TUNEL NA LETIŠTI VÁCLAVA HAVLA PRAHA

HOSTIVICE RAILWAY TUNNEL AT THE VÁCLAV HAVEL AIRPORT PRAGUE

JAKUB VLADÍK

ABSTRAKT

Hostivický železniční tunel je klíčovou součástí plánovaného projektu Zaokružování železničního spojení Letiště Praha do trati Praha – Letiště Václava Havla – Kladno. Tunelová stavba o délce 2800 m je situována částečně pod terminály pražského letiště a v situaci křížuje vzletovou a přistávací dráhu RWY 12/30, přičemž propojuje podpovrchovou stanici Praha – Letiště Václava Havla s modernizovanou tratí Praha–Kladno. V době zpracování článku je projekt Hostivického tunelu na počátku projekčních prací dokumentace pro povolení záměru, zatímco navazující úsek se stanicí letiště má již vydané povolení záměru (stavební povolení). Návrh hloubeného tunelu je zásadně ovlivněn provozem mezinárodního letiště a souvisejícími bezpečnostními, technickými a organizačními omezeními. Netypické konstrukční řešení vychází z komplikovaného kolejového uspořádání. Klíčovou výzvou je výstavba pod plně provozovaným letišťem při zachování jeho funkce. Článek se zaměřuje na identifikaci hlavních rizik a porovnání variant řešení, přičemž za zásadní faktory úspěchu projektu označuje koordinaci investorů a správnou volbu technologie výstavby v místě křížení s RWY 12/30. Firma SAGASTA je zpracovatelem projektu Hostivického tunelu a koordinátorem rizikové analýzy a požárně bezpečnostního řešení pro celý tunelový komplex, který tvoří tunel Aviatická, podzemní železniční stanice Letiště Václava Havla a Hostivický tunel.

ABSTRACT

The Hostivice railway tunnel is a key component of the planned project called the Railway loop of the Prague airport connection to the Praha – Václav Havel Airport Prague – Kladno railway line. The tunnel structure with a length of 2,800m is partially situated underneath terminals of the Prague airport, and it crosses the RWY 12/30 runway, while connecting the underground station Praha – Václav Havel Airport with the modernised Praha–Kladno railway line. At the time of preparing this article, the Hostivice tunnel project is at the beginning of design work on the documentation for a planning permission, while the following section with the airport station already has a planning permission (building permit). The design of the cut-and-cover tunnel is fundamentally affected by international airport operations and related security, technical, and organisational restrictions. The atypical construction solution originates from the complicated track layout. A key challenge is construction beneath a fully operational airport while preserving its function. The article focuses on the identification of main risks and the comparison of solution variants, while it determines the chief factors for the success of the project to be the coordination of contract owners and the correct construction technology choice at the location of crossing the RWY 12/30. The SAGASTA company is the author of the Hostivice tunnel design and the coordinator of risk analysis and the fire safety solution for the entire tunnel complex that is formed by the Aviatická tunnel, the underground railway station Václav Havel Airport, and the Hostivice tunnel.

1 OBECNÉ INFORMACE, ŠIRŠÍ VZTAHY A VAZBY NA OKOLNÍ STAVBY

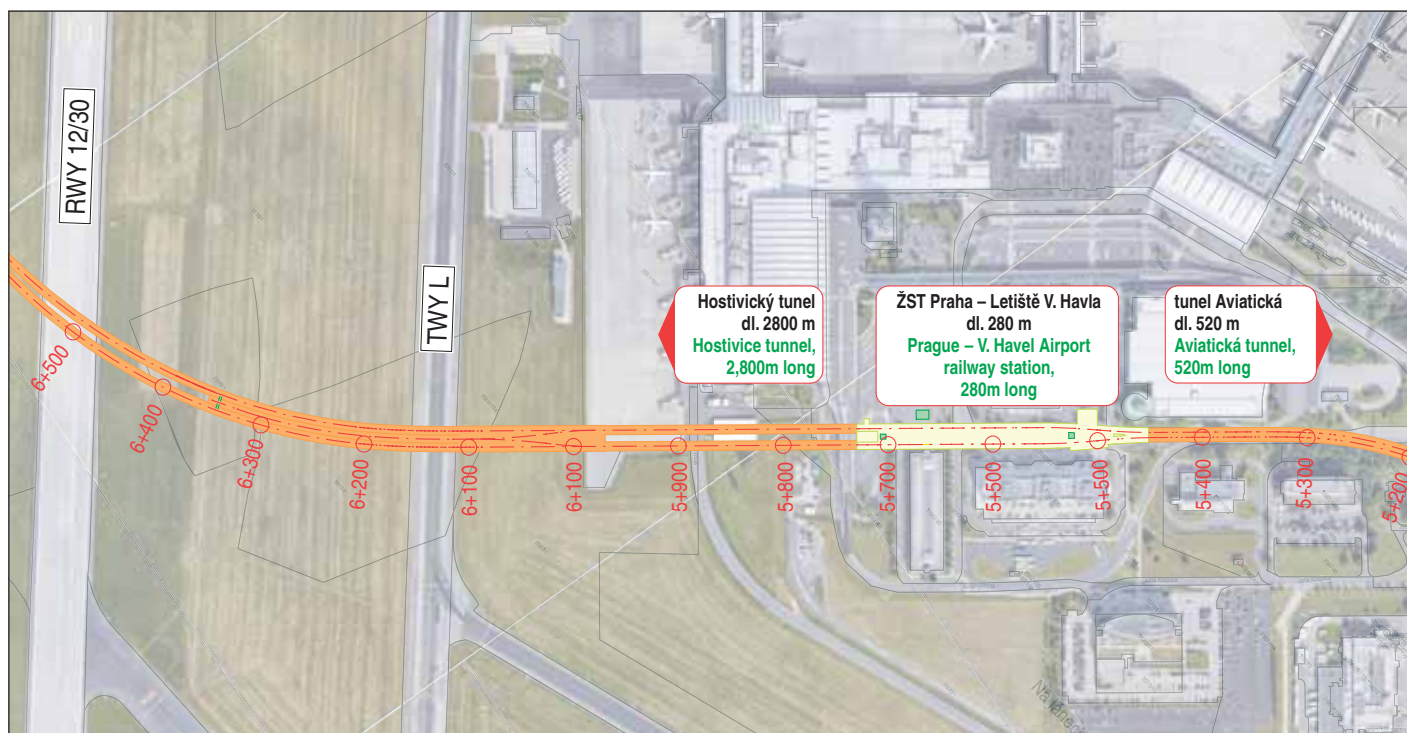
Hostivický železniční tunel představuje jednu ze tří podzemních staveb tvořících souvislý tunelový komplex v oblasti letiště, který je součástí železničního spojení mezi centrem Prahy (Masarykovým nádražím) a Letištěm Václava Havla Praha. Ve směru od zastávky Praha-Veleslavín tento komplex zahrnuje tunel Aviatická délky 520 m, podzemní železniční stanici Praha – Letiště Václava Havla délky 280 m a navazující Hostivický tunel o délce 2 800 m. Celková délka tunelového komplexu tak dosahuje 3 600 m. Společným cílem celého řešení je vytvoření kapacitního, provozně spolehlivého a plně průjezdného železničního systému dopravně obsluhujícího letiště i navazující území [1].

Projekční záměr rozšíření pražského letiště, které se dlouhodobě přibližuje hranici své provozní kapacity, zahrnuje zvětšení Terminálu 2, úpravy odstavných ploch a výstavbu nové paralelní raménky. Tyto investice budou probíhat souběžně s přípravou železniční infrastruktury a vytvářejí složité koordinační rozhraní mezi dvěma

1 GENERAL INFORMATION, BROADER CONTEXT, AND TIES TO SURROUNDING STRUCTURES

The Hostivice railway tunnel represents one of three underground structures forming a continuous tunnel complex at the airport, together forming a part of the railway link between the Prague centre (Masaryk railway station) and the Václav Havel Airport in Prague. In the direction from the Praha-Veleslavín stop, this complex includes the Aviatická tunnel at a length of 520m, the underground Prague – Václav Havel Airport railway station with a length of 280m, and the adjacent 2,800m long Hostivice tunnel. The total length of the tunnel complex, therefore, reaches 3,600m. A common goal of the entire solution is to create a high-capacity, operationally reliable, and fully passable railway system that would serve the airport and the surrounding area transportation-wise [1].

The project goal of enlarging the Prague airport, which has been nearing the limit of its operational capacity for a long time now, includes the extension of Terminal 2, modifications of apron areas, and the construction of a new parallel runway. These



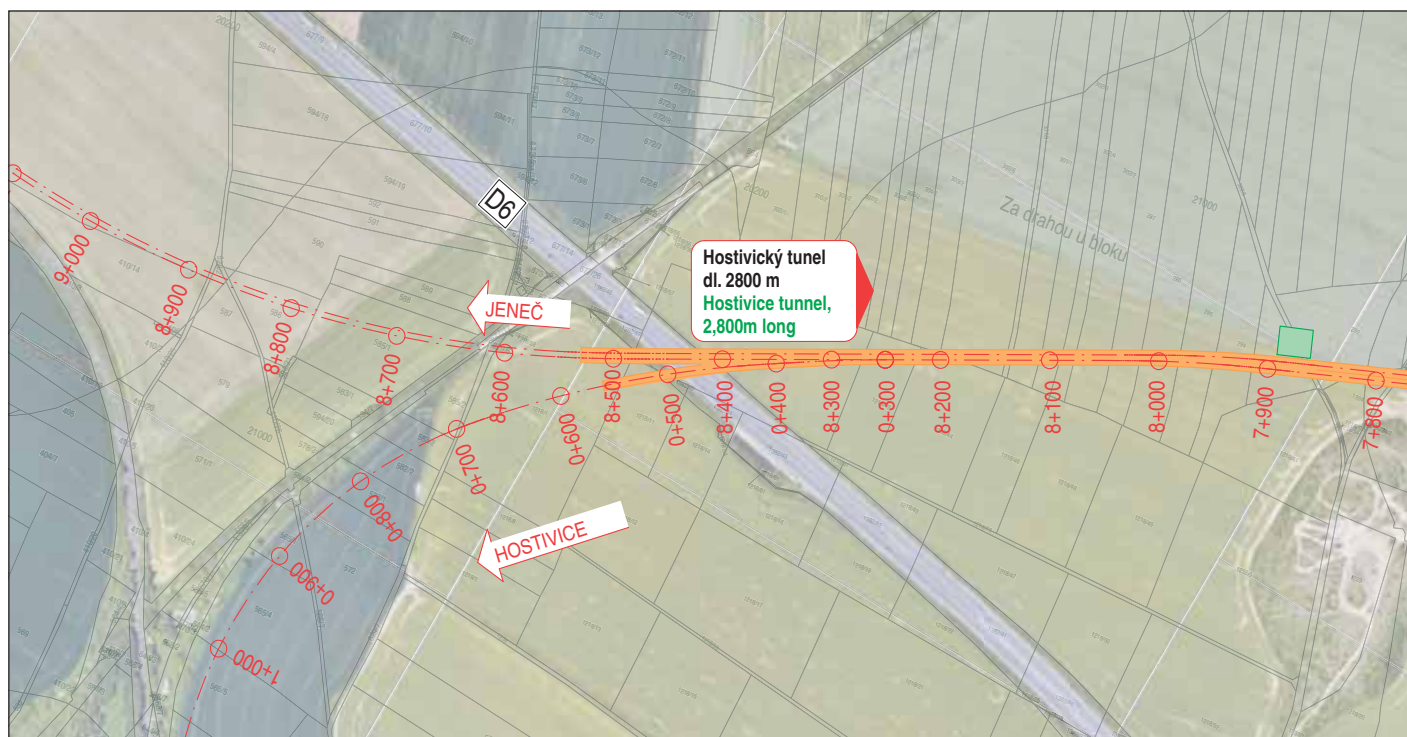
Obr. 1 Schéma staveb tvořících tunelový komplex

Fig. 1 Diagram of structures forming the tunnel complex

významnými investory, tj. Správou železnic a Letištěm Praha, a.s. Jejich stavby jsou přitom prostorově i funkčně úzce provázány a v některých místech se nacházejí ve vzájemné kolizi. Schéma tunelového komplexu pod letištěm se začleněním do stávajících objektů letiště, pojezdovou dráhou TWY L a ranveji RWY 12/30 je zobrazeno na obr. 1. Výjezdový portál s podchodem pod dálnicí D6 je zobrazen na obr. 2.

Zásadním rizikovým faktorem je časová návaznost modernizace letiště, která má být dokončena kolem roku 2033, a dokončení podzemní železniční stanice s předstihovou částí Hostivického

investments will happen simultaneously with the preparation of railway infrastructure and create a difficult co-ordination boundary between two important contract owners, specifically Správa železnic and Letiště Praha, a.s. Their structures are closely related spatially and functionally and, in some places, collide. A diagram of the tunnel complex beneath the airport and its integration into current airport structures, TWY L taxiway, and RWY 12/30 runway is shown in Fig. 1. The exit portal with an underpass beneath the D6 motorway is depicted in Fig. 2.



Obr. 2 Schéma výjezdového portálu u dálnice D6

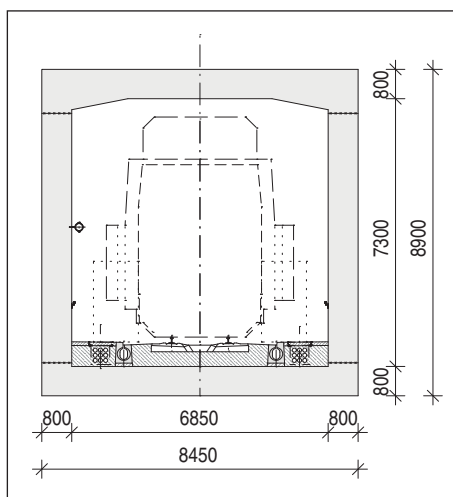
Fig. 2 Diagram of the exit portal at the D6 motorway

tunelu v perimetru letiště, což je podmínkou pro zahájení navazujících prací na povrchu území [2]. V době zpracování článku byly jednotlivé části tunelového komplexu v rozdílných stupních přípravy. Tunel Aviatická a stanice Praha – Letiště Václava Havla se nachází na úrovni schválené dokumentace pro povolení záměru, Hostivický tunel je na počátku fáze povolení záměru [3]. S ohledem na složitost časových i konstrukčních vazeb byla zahájena komplexní riziková analýza nahlízející na celé železniční zaokrouhování jako na jeden celek, v souladu s přístupy uplatňovanými i u dalších podobných projektů Správy železnic.

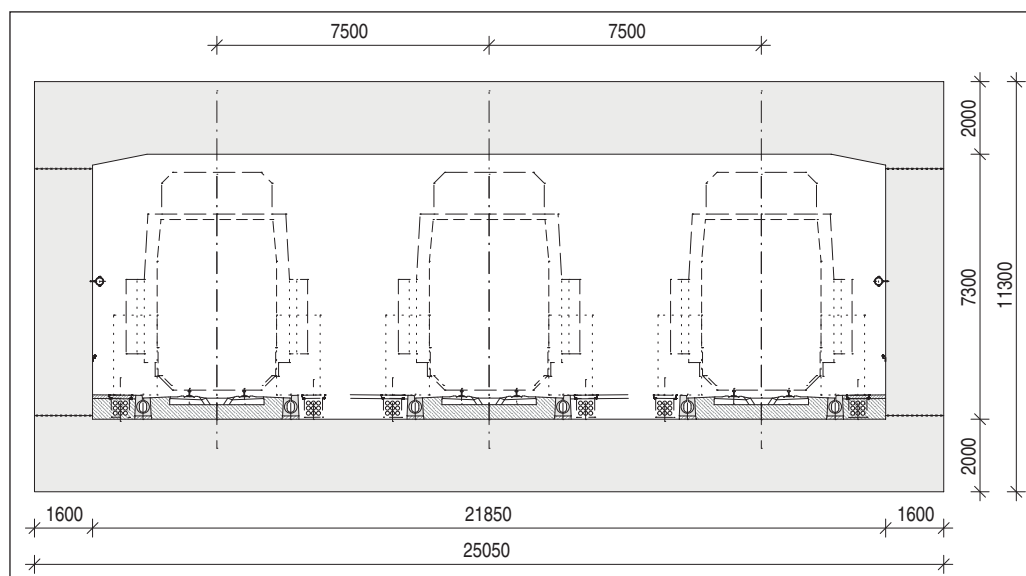
1.1 Technické řešení a okrajové podmínky jeho návrhu

Hostivický tunel délky 2 800 m tvoří závěrečnou část tunelového komplexu pod pražským letištěm. Jeho dva výjezdové portály

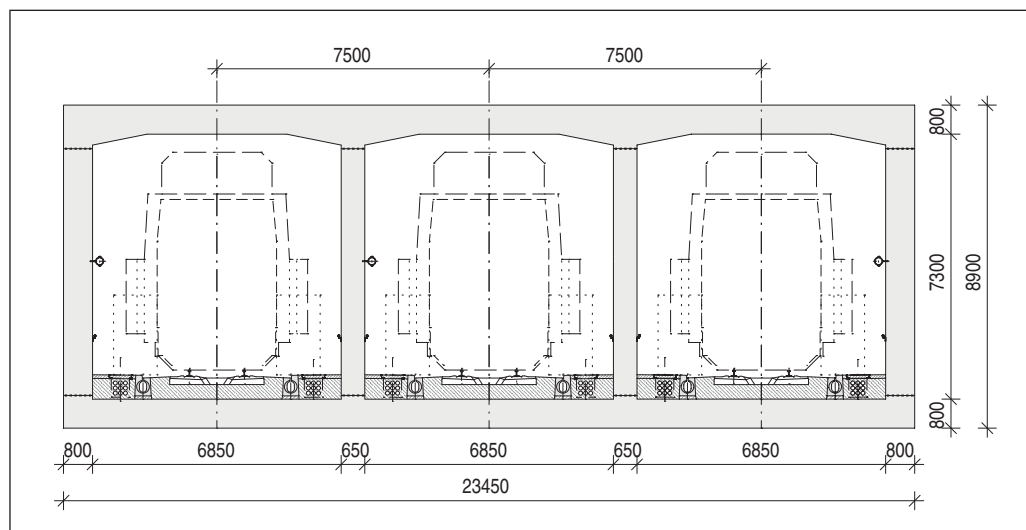
with approaches used even for other similar projects of Správa železnic.



Obr. 3 Vzorový příčný řez jednokolejného tunelu
Fig. 3 Typical cross-section of the single-track tunnel



Obr. 4 Vzorový příčný řez tříkolejného tunelu
Fig. 4 Typical cross-section of the three-track tunnel



Obr. 5 Vzorový příčný řez trojtraktu pro kusou kolej
Fig. 5 Typical cross-section of the three-span for the dead-end track

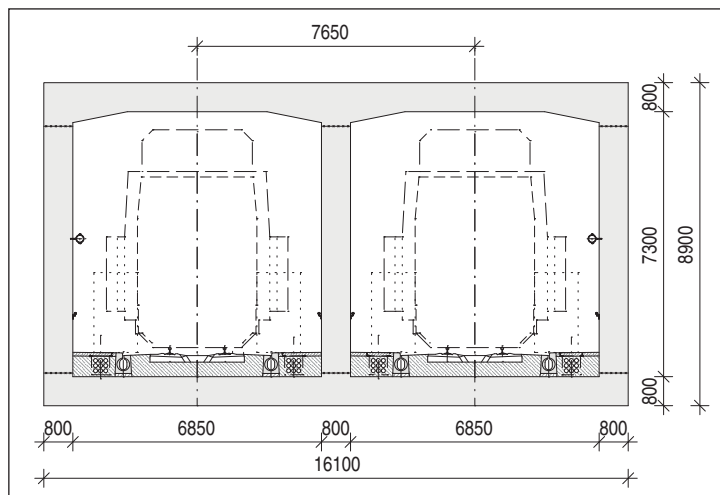
A fundamental risk factor is the time continuity of airport modernisation, which is supposed to be finished around 2033, and the completion of the underground railway station with an in-advance part of the Hostivice tunnel within the airport perimeter, which is a condition for starting subsequent work on the surface [2]. When preparing this article, individual parts of the tunnel complex were in various stages of preparation. The Aviatická tunnel and Prague – Václav Havel Airport railway station have documentation for an intent permit approved, while the Hostivice tunnel is at the beginning of the intent permit phase [3]. With regard to time and structural difficulty, a complex risk analysis was started, taking into consideration the entire railway loop as one, in line

1.1 Technical solution and boundary conditions of its design

The Hostivice tunnel, with a length of 2,800m, forms the final part of the tunnel complex beneath the Prague airport. Its two exit portals are located beyond the D6 motorway in the currently pursued variant, with the tunnel passing just underneath it. A route branching with a railroad switch is inside the tunnel before the exit portal in the direction towards Jeneč, which facilitates a double-track turn for trains towards Jeneš and a single-track turn towards Hostivice.

From a construction view, it is an extraordinarily difficult underground structure with its arrangement affected by a whole array of boundary conditions, not only from the side of Správa železnic, but also Letiště Praha, a.s. The directional and vertical solutions that take into account all boundary conditions require the leading of the route in a tunnel with a number of different types of cross sections and unorthodox transition areas between them, which are utilised along the route of the tunnel in relation to the layout of the tracks and operational functions of each section.

In the direction of chainage, two single-track tunnels (Fig. 3)



Obr. 6 Vzorový příčný řez dvoukolejného tunelu se střední stěnou
Fig. 6 Typical cross-section of the double-track tunnel with a centre wall

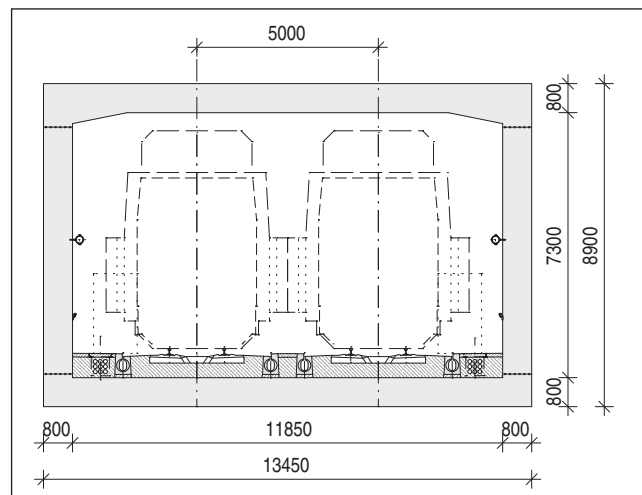
se v aktuálně sledované variantě nachází za dálnicí D6, kterou tunel mělce podchází. Před výjezdovým portálem směrem na Jeneč se v tunelu nachází větvení trasy s výhybkou, která umožňuje dvoukolejné odbočení vlaků směrem Jeneč a jednokolejné odbočení ve směru na Hostivice.

Z konstrukčního hlediska se jedná o mimořádně složitou podzemní konstrukci, jejíž uspořádání je ovlivněno celou řadou okrajových podmínek jak ze strany Správy železnic, tak i Letiště Praha, a.s. Směrové i výškové řešení zohledňující všechny okrajové podmínky vyžaduje vedení trasy v tunelu s množstvím různých typů příčných řezů a atypických přechodových oblastí mezi nimi, které jsou podél trasy tunelu použity v závislosti na dispozičním řešení kolejí a provozních funkcích jednotlivých úseků.

Ve směru staničení navazují na technologickou část podzemní stanice dva jednokolejné tunely (obr. 3), které jsou zaústěné do tříkolejného tunelu určeného pro umístění výhybky s možností odbočení do kusé koleje pro vlaky, které ve stanici svou jízdu končí a vrací se zpět. Tříkolejný tunel se světlým rozpětím cca 22 m (obr. 4) přechází do trojtraktu, jehož průběžné boční tunely jsou traťové a do středního tunelu je zaústěna kusá kolej (obr. 5). Na konci kusé koleje je střední trakt zaslepen stěnou a traťové tunely pokračují dál jako dva jednokolejné tunely. Ty se půdorysně sbíhají až přejdou do rámové konstrukce dvoukolejného tunelu se střední stěnou (obr. 6). Tento typ konstrukce tvoří větší část délky tunelu. Před křížením s dálnicí D6 je vložena výhybka a rámová konstrukce přechází z dvoukolejného tunelu se střední stěnou do postupně se rozšiřující tříkolejné části, ze které dál pokračuje dvoukolejný tunel bez střední stěny směrem na Jeneč (obr. 7) a jednokolejný tunel odbočující na Hostivice. Hostivický i Jenečský portál jsou situovány za křížením s dálnicí D6.

Zásadním požadavkem Správy Železnic bylo umístění kusé koleje bezprostředně za stanicí Praha – Letiště Václava Havla. Tento provozní koncept zajišťuje vysokou kapacitu spojení, ale zároveň přináší řadu technických problémů, které vyplývají z umístění výhybek a vedení tří kolejí v tunelu bez dělicích stěn.

Další klíčovou okrajovou podmínkou je provozní požadavek pražského letiště na nepřetržitě zachování možnosti pohybu letadel mezi severní a jižní částí letiště v průběhu výstavby. Směrové vedení tunelu kříží dvě důležité letištní komunikace – pojezdovou



Obr. 7 Vzorový příčný řez dvoukolejného tunelu
Fig. 7 Typical cross-section of the double-track tunnel

connect to the technological section of the underground station, which leads into a three-track tunnel meant for the placement of a railroad switch with an option to turn to a dead-end track for trains that terminate their journey in the station and then return. The three-track tunnel with a clear span of ca. 22m (Fig. 4) transitions into a three-span with lateral continuous track tunnels, and the dead-end track leads into the middle tunnel (Fig. 5). At the end of the dead-end track, the middle span is sealed off with a wall, and track tunnels carry further on as two single-track tunnels. These converge horizontally until they transition into a frame structure of a double-track tunnel with a centre wall (Fig. 6). This type of structure forms the larger part of the tunnel. Before crossing the D6 motorway, a railroad switch is placed, and the frame structure transitions from the double-track tunnel with a centre wall to a gradually widening three-track section, from which a double-track tunnel without a centre wall then continues towards Jeneč (Fig. 7), and a single-track tunnel turns towards Hostivice. The Hostivice and Jeneč portals are situated beyond the crossing with the D6 motorway.

A fundamental requirement of Správa železnic was the placement of a dead-end track directly after the Prague – Václav Havel Airport railway station. This operational concept secures high capacity of the connection but also brings along many technical problems that arise from the placement of railroad switches and the routing of three tracks in a tunnel without separating walls.

Another key boundary condition is an operational requirement of the Prague airport for uninterrupted aircraft movement between the northern and southern parts of the airport throughout construction. The directional routing of the tunnel crosses two important airport roads – the TWY L taxiway near the current Terminal 2 and the RWY 12/30 runway. The requirement of the airport determines that at least one of these two routes must remain operational throughout the entire construction and that no construction activity can take place within its protection zone.

The mentioned operational restrictions project radically onto the construction phasing plan. The tunnel is divided along its length into multiple technologically and structurally different sections that must be implemented in a precisely defined time and spatial succession. Although phasing does not apply only to the implementation itself, but also to the design proposal. Individual tunnel sections are being prepared by multiple design offices, which once again puts higher demands on coordination.

Tab. 1 Přehled a rozdělení rizik projektu Hostivického tunelu

Kategorie rizik	Hlavní rizikové faktory	Dopad
Projektová a koncepční	- tunelový komplex rozdělen do samostatně řešených staveb - rozdílné návrhové přístupy v navazujících úsecích	- nekonzistentní řešení rizikových analýz - zvýšená koordinační náročnost v navazujících stupních dokumentace
Koordinační	- absence hlavního koordinátora - souběh se stavbami rozšíření letiště - chybějící požadavek na BIM v rané fázi projektu	kolize a nesoulady v dokumentaci a návaznosti konstrukcí, hydroizolací a inženýrských sítí
Technická a konstrukční	- velká variabilita příčných řezů - největší světlé rozpětí přes 22 m - podchod pod vzletovou a přistávací dráhou RWY 12/30 s nadloží zhruba 10 m	zvýšené nároky na dimenzování dočasných i trvalých konstrukcí
Geotechnická a realizační	- nízké nadloží pro ražbu (10–12 m) pod vzletovou a přistávací dráhou RWY 12/30 - nadloží z jílu (F6) a jílovitých štěrků (G5–G4) - podloží z kvalitnějších pískovců a slínovců (R4–R3) - požadavky nadzemního objektu meteorologické stanice na vibrace, hluk a prašnost	- omezení volby technologie - nutnost přeložení meteorologické stanice - opatření proti hluku, prašnosti a šíření vibrací
Provozní a časová	- kolize harmonogramů Správy železnic a Letiště Praha - zaostávání projektové přípravy Hostivického tunelu	zpoždění projekčních prací může odsunout stavbu Hostivického tunelu v harmonogramu za modernizaci Terminálu 2

Tab. 1 Overview and classification of risks of the Hostivice tunnel project

Risk category	Primary risk factors	Impact
Design and conceptual	- tunnel complex divided into individually addressed structures - different design approaches in connected sections	- inconsistent solutions of risk analysis - increased coordination difficulty in following documentation levels
Coordination	- absence of a chief coordinator - concurrence with airport expansion constructions - missing requirement for BIM in the early design phase	collisions and discrepancies in the documentation and in the continuity of structures, waterproofing, and engineering networks
Technical and structural	- large variability of cross-sections - biggest clear span of more than 22m - crossing under the RWY 12/30 runway with an overburden of approximately 10m	increased requirements for dimensions of temporary and permanent structures
Geotechnical and implementation	- low overburden for excavation (10–12 m) underneath the RWY 12/30 runway - overburden consisting of clays (F6) and clayey gravels (G5–G4) - overburden consisting of higher-quality sandstones and marlstones (R4–R3) - the surface meteorological station has requirements for vibrations, noise, and dust formation	- limited choice of technologies - the need to relocate the meteorological station - measures against noise, dust formation, and vibration propagation
Operational and time	- collision of Správa železnic and Letiště Praha schedules - the Hostivice tunnel design preparation is falling behind	delays of design work can postpone the construction of the Hostivice tunnel in the schedule behind Terminal 2 modernisation

dráhu TWY L v blízkosti současného Terminálu 2 a vzletovou a přistávací dráhu RWY 12/30. Požadavek letiště stanovuje, že po celou dobu výstavby musí alespoň jedna z těchto dvou komunikací zůstat v provozu a v jejím ochranném pásmu nesmí probíhat žádná stavební činnost.

Uvedené provozní omezení se zásadním způsobem promítá do návrhu etapizace výstavby. Tunel je po své délce rozdělen na několik technologicky a konstrukčně odlišných úseků, které musí být realizovány v přesně definované časové a prostorové posloupnosti. Etapizace se přitom netýká pouze samotné realizace, ale i projekčního návrhu. Jednotlivé úseky tunelu zpracovává několik projekčních kanceláří, což opět klade vyšší nároky na koordinaci.

1.2 Typy rizik a jejich rozdělení

Rizika spojená s návrhem Hostivického tunelu je třeba posuzovat komplexně. Jednotlivé rizikové faktory jsou vzájemně

1.2 Types of risks and their classification

It is necessary to assess the risks associated with the design of the Hostivice tunnel comprehensively. Individual risk factors are interconnected and often accumulate in places where structural, operational, and organisational phases make contact. In the case of the Hostivice tunnel, the situation is then complicated by the fact that a section of the tunnel is located within the perimeter of an international airport and that more contract owners are involved in the preparation, each having different priorities.

For the purpose of risk analysis, risks are divided into multiple basic categories, which take into consideration not only phases of design preparation and the structural design itself, but also the course of construction and securing operational safety (Tab. 1).

The first group is formed by design and conceptual risks. Risks emerging from the construction assignment itself, its division into sections, and the chosen method of design preparation

provázány a často se kumulují v místech styku konstrukčních, provozních a organizačních etap. Situaci v případě Hostivického tunelu dále komplikuje skutečnost, že část tunelu leží uvnitř perimetru mezinárodního letiště a do přípravy je zapojeno více investorů s rozdílnými prioritami.

Pro účely analýzy rizik jsou rizika rozdělena do několika základních kategorií, které zohledňují jak fázi projektové přípravy a vlastní návrh konstrukce, tak postup výstavby a zajištění bezpečnosti provozu (tab. 1).

První skupinu tvoří projektová a koncepční rizika. Do této kategorie patří rizika vyplývající ze samotného zadání stavby, jejího členění na úseky a zvoleného způsobu řízení projektové přípravy. Hostivický tunel je jednou ze tří částí tunelového komplexu, který byl od počátku rozdělen do několika samostatně řešených staveb. Tento způsob projekční přípravy má výhodu v rozdělení projekčních prací do menších celků, což snižuje nároky na kapacitu jednotlivých projekčních kanceláří i financování projektů, současně však přináší zvýšené nároky na koordinaci a vytváří riziko nekonzistentních návrhových přístupů v na sebe navazujících úsecích. Specifickým problémem, který rovněž vyplývá z dílčího řešení tunelového komplexu, je zpracování rizikové analýzy a požárně bezpečnostního řešení pro jednotlivé stavby a nikoli pro tunelový komplex jako celek. To vede k situaci, že nejsou zohledněny některé rizikové scénáře, které mohou ovlivnit i stavební řešení jednotlivých úseků.

Na projektová rizika bezprostředně navazuje druhá skupina – koordinační rizika. Ta jsou spojena zejména s vazbami na okolní stavby a koordinací jednotlivých částí tunelového komplexu. V případě Hostivického tunelu se nejedná pouze o stavby železničního tunelového komplexu, ale také stavby letiště, ke kterým patří pojezdová dráha, vzletová a přistávací dráha, silniční tunel pro obsluhu letiště, stavby rozšíření Terminálu 2, meteorologické stanice a křížení železničního tunelu s dálnicí D6. Vzhledem k výškovému vedení trasy železnice a reliéfu území není možné tunel a jeho předportálové úseky vedené v zářezu gravitačně odvodnit. Proto je součástí projektu Hostivického tunelu i návrh ražené odvodňovací štol, která odvádí vodu od výjezdového portálu směrem do Dobrovízského potoka.

V případě železničního zaokružování pod letištěm byly jednotlivé úseky zpracovávány různými projekčními týmy bez jednoznačně definovaného hlavního koordinátora se znalostí technického řešení jednotlivých částí tunelového komplexu a přehledem nad celým územím. Praktickým důsledkem tohoto stavu byly například rozdílné šířky služebních chodníků mezi Hostivickým tunelem a podzemní železniční stanicí s dopadem do šířkového uspořádání a návaznost nosných konstrukcí. V raných fázích projekční přípravy Hostivického tunelu navíc nebyl stanoven požadavek na zpracování dokumentace v režimu BIM, což dále zvýšilo riziko vzniku kolizí a nesouladů v navazujících stupních projektové dokumentace.

Ke třetí skupině rizik patří technická a konstrukční rizika, která se vztahují přímo k návrhu nosných konstrukcí tunelu. Hostivický tunel se vyznačuje značnou variabilitou příčných řezů a přítomností atypických konstrukčních řešení, zejména v oblasti kusé koleje, kde dva jednokolejné tunely vycházející ze stanice přecházejí v oblasti umístění výhybky do rámové konstrukce o světlem rozpětí profilu cca 22,0 m, aby následně pokračovaly do trojtraktu, kde je do středního traktu zavedena kusá kolej a boční trakty jsou traťovými tunelem. Konstrukce svými rozměry klade vysoké nároky na dimenzování z hlediska mezních stavů

management all belong here. The Hostivice tunnel is one of three parts of a tunnel complex that was, from the beginning, divided into multiple individually addressed structures. This method of design preparation has an advantage in dividing design work into smaller parts, which decreases the demand for the capacity of individual design offices and design financing. Although at the same time, it carries increased demands for coordination and creates a risk of inconsistent design approaches in connecting sections. A specific problem that also arises from the partial solution of the tunnel complex is the elaboration of a risk analysis and fire safety solution for individual structures and not for the tunnel complex as a whole. That leads to a situation where some risk scenarios that can affect even the construction solution of individual sections are not factored in.

Following right after design risks is the second group – coordination risks. Those are tied mainly to the relations with other structures and the coordination of individual parts of the tunnel complex. In the case of the Hostivice tunnel, it does not include only structures of the railway tunnel complex, but also airport structures that include the taxiway, runway, road tunnel for airport service, Terminal 2 enlargement structures, meteorological station, and the crossing of the railway tunnel with the D6 motorway. Due to the vertical alignment of the railway route and the relief of the area, it is not possible to gravitationally drain the tunnel and its sections leading up to the portals that are routed in an earth cut. That is why the Hostivice tunnel design also includes a design of an excavated drainage gallery that drains water from the exit portal towards the Dobrovíz brook.

In the case of the railway loop beneath the airport, individual sections were elaborated by different design teams without a clearly defined main coordinator with knowledge of the technical solutions of individual sections of the tunnel complex and general knowledge of the entire area. A practical outcome of this state was, for example, different widths of service pavements in the Hostivice tunnel and in the underground railway station, with an impact on the width layout and continuity of load-bearing structures. On top of that, the requirement for documentation preparation in the BIM mode was not defined in the early phases of design preparation of the Hostivice tunnel, which then increased the risk of emerging collisions and inconsistencies in subsequent levels of design documentation.

The third group of risks includes technical and structural risks that apply directly to the design of load-bearing structures of the tunnel. The Hostivice tunnel is unique for a significant variability of cross-sections and the presence of atypical structural solutions. Those occur mainly around the dead-end track where two single-track tunnels exit the station and near the railroad switches transition into a frame structure with a clear span of roughly 22.0m. They then continue into a three-span tunnel, where the dead-end track is located in the middle span, and the lateral spans are track tunnels. The structure puts high demand on the dimensions due to its size from the viewpoint of ultimate and serviceability limit states, since it is not possible to design partitioning walls between tracks in the area of the railroad switches (Fig. 4).

Important risks are likewise tied to the choice of waterproofing methods, protection against the effects of stray currents, and the solution of transitions between individual structure types.

Technical risks also include geotechnical and implementation risks. Those arise from uncertainties of the geological environment and from limitations given by the location of the structure being

únosnosti i použitelnosti, jelikož v oblasti výhybek není možné navrhnout mezi kolejemi dělicí stěny (obr. 4).

Významná rizika jsou spojena rovněž s volbou koncepce hydroizolace, ochranou proti účinkům bludných proudů a s řešením přechodů mezi jednotlivými konstrukčními typy.

Součástí technických rizik jsou rovněž geotechnická a realizační rizika. Ta vyplývají z nejistot geologického prostředí a z omezení daných polohou stavby v areálu letiště. Přestože geotechnická rizika jsou nedílnou součástí každé podzemní stavby, v tomto případě jsou umocněna požadavky na minimalizaci deformací povrchu a na omezení stavební činnosti v ochranných pásmech letiště. Realizační rizika jsou úzce svázána s volbou technologie výstavby, s nutností předstihových opatření a s mimořádně přísnými požadavky na přípustné vibrace, hlučnost, prašnost a omezení viditelnosti v oblasti meteorologické stanice, která zajišťuje potřebné informace pro zajištění bezpečnosti letového provozu.

Poslední kategorií jsou provozní a časová rizika. Tato skupina rizik zahrnuje požadavky společnosti Letiště Praha, a.s. na minimalizaci doby výstavby v perimetru letiště a zároveň dodržení velmi přísných limitů přípustných deformací a rovinatosti povrchu při obnově vzletové a přistávací dráhy [4]. Zásadním rizikovým faktorem je rovněž kolize harmonogramů obou investorů. Zatímco modernizace letiště má pevně stanovený časový rámec, projektová příprava Hostivického tunelu v době zpracování článku zaostává za ostatními částmi tunelového komplexu. Tato časová disproporce představuje jeden z velkých rizikových faktorů.

2 KOORDINACE PROJEKTU A POSTUPU VÝSTAVBY

2.1 Riziková analýza

Jedním z nejsložitějších projekčních problémů současné fáze přípravy je koordinace rizikové analýzy a požárně bezpečnostního řešení tunelového komplexu jako celku. Vzhledem k tomu, že jednotlivé části tunelového komplexu byly v předchozích stupních projektové dokumentace zpracovávány samostatně, bylo stejným způsobem přistupováno i k jejich rizikovým analýzám. Hostivický tunel je z hlediska projekční přípravy zpracován jako poslední, a právě při jeho projektování se ukázalo, že při dodržení normou požadovaných rozměrů na sebe konstrukce tunelů nenavazují. Nově připravovaná riziková analýza řeší tunelový komplex jako celek a bude podkladem pro vypracování požárně bezpečnostního řešení. Po dohodě s investorem i zástupci HZS bylo dohodnuto, že koordinaci rizikové analýzy a požárně bezpečnostního řešení bude pověřena firma SAGASTA s.r.o. s tím, že snahou je v maximální možné míře nezasahovat do konstrukcí stanice, která má již vydané stavební povolení. Snaha nezasahovat do stávajícího konstrukčního řešení a požárně bezpečnostního řešení těch částí tunelového komplexu, pro něž již bylo vydáno stavební povolení, je omezující a tuto podmínku se nemusí podařit beze zbytku splnit. V rámci nové komplexní rizikové analýzy byla zřízena pracovní skupina, která má za úkol identifikovat a správně klasifikovat všechna rizika. Výsledkem analýzy bude soubor opatření, který bude zajišťovat bezpečný a efektivní provoz celého tunelového komplexu.

2.2 Podchod pod pojezdovou dráhou TWY L a ranveji RWY 12/30

Podchod železniční trati pod pojezdovou dráhou a vzletovou a přistávací dráhou RWY 12/30 představuje z hlediska návrhu

inside the airport complex. Despite the fact that geotechnical risks are an integral part of every underground structure, in this case, they are amplified due to requirements to minimise deformations of the surface and to limit construction activities inside the protected zones of the airport. Implementation risks are closely related to the choice of construction technology, to the need for in-advance measures, and to an exceptionally strict requirement for acceptable vibrations, noise, dust formation, and visibility reduction in the area of the meteorological station that gathers necessary information for securing safe aircraft operation.

The last category includes operational and time risks. This group of risks includes the requirements of the Letiště Praha, a.s. company for the utmost reduction of construction length in the perimeter of the airport while concurrently abiding by very strict limits for acceptable deformations and a level surface while restoring the runway [4]. A fundamental risk factor is also the collision of the schedules of both contract owners. While the modernisation of the airport has a fixed time frame, the design preparation of the Hostivice tunnel trails behind other parts of the tunnel complex at the time of preparing this article. This time, disproportion represents one of the large risk factors.

2 COORDINATION OF THE PROJECT AND CONSTRUCTION PROCESS

2.1 Risk analysis

One of the most difficult design problems of the current preparation phase is the coordination of the risk analysis and fire safety solution of the tunnel complex as a whole. Because individual sections of the tunnel complex were prepared separately in previous stages of preparation, the same approach was used even for their risk analysis. The Hostivice tunnel was prepared last in terms of design, and exactly during its design it became apparent that while abiding by the dimensions required by the norm, the tunnel structures do not connect to each other. The newly prepared risk analysis addresses the tunnel complex as a whole and will be the foundation for the preparation of the fire safety solution. After an agreement with the contract owner and HZS representatives, it was decided that the coordination of the risk analysis and fire safety solution would be assigned to SAGASTA s.r.o., and that effort would be made to not interfere with the structure of the station as much as possible, since it already has a building permit. The effort not to interfere with the current structural solution and the fire safety solution of those parts of the tunnel complex that already have a building permit is limiting and it might not be possible to accomplish this condition in its entirety. A new working group was formed within the new complex risk analysis with the goal of identifying and correctly classifying all risks. The outcome of the analysis will be a set of measures that will secure safe and effective operation of the entire tunnel complex.

2.2 Passing under the TWY L taxiway and RWY 12/30 runway

The passing of the railway route underneath the taxiway and RWY 12/30 runway poses the most critical part of the Hostivice tunnel from the perspective of design and implementation. It is a section where technical, operational, and organisational risks accumulate and where exceptionally strict requirements from the side of the airport operator are put, significantly limiting construction implementation technology.

Basic limiting factors include mainly these requirements:

- maintaining continuity of operation between the northern and southern parts of the airport;

i realizace nejkritičtější část Hostivického tunelu. Jedná se o úsek, na kterém se kumulují technická, provozní i organizační rizika a na který jsou zároveň kladeny mimořádně přísné požadavky ze strany provozovatele letiště, které výrazně omezující technologii provádění stavby.

Mezi základní limitující faktory patří zejména požadavky na:

- zachování kontinuity provozu mezi severní a jižní částí letiště;
- minimalizaci technické seismicity na objekty a technické vybavení letiště;
- omezení prašnosti a zajištění dobré viditelnosti;
- omezení deformací a dodržení rovinatosti povrchu pojezdové dráhy a ranveje;
- maximální urychlení prací v perimetru letiště.

S ohledem na tyto přísné podmínky bylo prověřováno několik technologických postupů výstavby podchodu ranveje a pojezdové dráhy. Jednalo se o variantu hloubeného tunelu, ražení pomocí NRTM i TBM a ražbu pod zastropením. Nasazení konkrétní tunelovací metody vyvolávalo požadavky na změny směrového i výškového vedení trasy i jednotlivých kolejí. Omezení vyvolaná situováním Hostivického tunelu v území letiště a jeho napojením na stávající trať i podzemní stanici některé varianty technologie provádění tunelů trasy ihned vyloučilo.

Jako výsledná technologie provádění byl zvolen hloubený tunel. K tomuto řešení bylo přistoupeno z několika důvodů.

- a) Z geotechnického hlediska je nadloží tunelu v místě křížení s ranvejí jen 10,0 až 12,0 m a je tvořeno zejména jíly (F6) a jílovitými štěrky (G5–G4).
- b) Změna technologie výstavby z hloubené na raženou variantu jak pomocí NRTM, tak TBM by si vyžádala směrové i výškové úpravy nivelety (zhloubení nivelety a oddálení jednokolejných tunelů), což by výrazně zkomplikovalo napojení tunelu na podzemní železniční stanici.
- c) Dalším faktorem byl časový tlak na projekční práce.

Nejvýznamnějším problémem současné hloubené varianty zůstává délka výstavby v perimetru letiště. Doba realizace hloubené varianty v úseku pod vzletovou a přistávací dráhou RWY 12/30 je v současnosti stanovena přibližně na dva roky a čtyři měsíce, přičemž tento čas vychází z objemů odvozených ze zjednodušeného 3D modelu a rychlosti provádění předpokládaných stavebních prací v daných geotechnických podmínkách. Oba investoři přitom vyvíjejí tlak na maximální zkrácení doby výstavby jak s ohledem na návaznost výstavby jednotlivých částí tunelového komplexu a návazných staveb letiště, tak doby přerušení jeho provozu.

Z toho důvodu je v době zpracování článku prověřována v místě křížení s ranvejí nebo dálnicí D6 varianta ražby pod zastropením. Jedná se o předstihové opatření, které by při zachování stávající geometrické polohy koleje mohlo postup urychlit a zkrátit jak výluku ranveje, tak omezení provozu na dálnici D6. Podmínkou je však ověření proveditelnosti příslušných technologií, zejména hloubení podzemních nebo pilotových stěn v daných geotechnických podmínkách, neboť pod základovou spárou tunelu se nacházejí pískovce a slínovce pevnostních tříd R4 až R3. Geotechnické podmínky v oblasti letiště byly ověřené nejen vrtným průzkumem, ale také již v prostoru letiště dokončenou ražbou kolektoru, o jehož výstavbě pojednává další článek tohoto čísla časopisu Tunel – Kolektor Hangár G pro Letiště Václava Havla Praha – technické řešení a zkušenosti z výstavby [5].

Hloubená varianta byla zvolena i s ohledem na minimalizaci výše investičních nákladů spojených s výstavbou. V případě

- minimising the impact of technical seismicity on structures and technical equipment of the airport;
- limiting dust formation and securing good visibility;
- limiting deformations and keeping a flat surface of the taxiway and runway;
- maximum expedition of work in the perimeter of the airport.

With regard to these strict conditions, multiple technological construction processes were evaluated for the crossing of the runway and taxiway. In question was a variant of a cut-and-cover tunnel, excavation using NATM and even TBM, and excavation underneath a ceiling. The deployment of a specific tunnelling method brought about requirements for a change in directional and vertical alignment of the route and individual tracks. The restrictions caused by the placement of the Hostivice tunnel in the area of the airport and its connection to the current railway and underground station immediately ruled out some technological variants of tunnel implementation.

As the final implementation technology, a cut-and-cover tunnel was selected. This solution was accepted due to multiple reasons.

- a) From a geotechnical standpoint, the tunnel overburden at the crossing with the runway is only 10.0 to 12.0m and is formed mainly by clays (F6) and clayey gravels (G5–G4).
- b) The change of construction technology from cut-and-cover to an excavated variant, be it NATM or TBM, would necessitate a directional and vertical change of the grade line (deepening of the grade line and putting the single-track tunnels further apart), which would significantly complicate the linking of the tunnels to the underground railway station.
- c) Another factor was the time pressure put on design work.

The most significant problem of the current cut-and-cover variant remains the time of excavation in the perimeter of the airport. Implementation time of the cut-and-cover variant in the section underneath the RWY 12/30 runway is currently established at approximately two years and four months, while this amount of time is based on the volumes derived from simplified 3D models and the speed of implementing expected construction work in the given geotechnical conditions. At the same time, both contract owners put maximum pressure on the biggest possible construction time shortening not only in regard to the continuity of individual parts of the tunnel complex and airport structures, but also the length of its interrupted service.

That is why, at the time of preparing this article, a variant of excavation underneath a ceiling is being verified at the location of the crossing with the runway or the D6 motorway. It is a measure done in advance that maintains the current geometrical track location, and that could speed up the process and shorten the runway traffic closure as well as traffic restrictions on the D6 motorway. Although a condition is the verification of the feasibility of relevant technologies, mainly the excavation of underground or pile walls in the given geotechnical conditions, since there are sandstones and marlstones with strength classes of R4 to R3 underneath the foundation surface of the tunnel. Geotechnical conditions in the area of the airport were verified not only by a drilling survey, but also by an already finished excavation of a utility tunnel at the airport, about the construction of which another article of this edition of the Tunel journal is concerned, called Hangar G Utility Tunnel for Václav Havel Airport Prague – Technical Solution and Construction Experience [5].

použití metody ražby pod zastropením nebo při použití jiných předstihových opatření pro zlepšení podmínek výstavby lze očekávat jejich navýšení. Časově závislé náklady spojené s omezením provozu dálnice D6 nebo výlukami v provozu letiště zatím vyčísleny nebyly.

3 ZÁVĚR

Hostivický tunel představuje z hlediska technického návrhu, logistiky, a především časového harmonogramu výstavby jednu z nejnáročnějších součástí tunelového komplexu pod pražským letištěm. Složitost projektu nevyplývá pouze z technických parametrů stavby, ale především z kombinace vzájemně provázaných geotechnických, koordinačních, provozních i časových rizik, která se v prostoru letiště kumulují.

Za klíčové části současné fáze přípravy lze označit dvě oblasti. První z nich je zpracování komplexní rizikové analýzy, která pohlíží na tunelový komplex jako na jeden celek, který je třeba stavebně i časově provázat s okolními navazujícími stavbami letiště. Přijatá opatření k minimalizaci rizik by navíc měla v maximálním rozsahu akceptovat již vydaná povolení záměru (stavební povolení) tunelu Aviatická a železniční stanice Praha – Letiště Václava Havla, a to tak, aby nedošlo ke zdržení v přípravě těchto staveb a tím i posunu zahájení stavebních prací.

Druhou klíčovou oblastí je volba technologie a etapizace výstavby podchodu pod ranvejí RWY 12/30, ale i v místě křížení s dálnicí D6. Zvolená varianta hloubeného tunelu splňuje geotechnické a projekční požadavky, avšak rozhodnutí o výsledné technologii nebude určeno pouze identifikací rizik nebo tlakem na zkrácení doby výstavby. Zásadním kritériem v rozhodování o postupu výstavby bude především schopnost správně definovat a minimalizovat rizika a zajistit, že v bezprostřední blízkosti provozovaného mezinárodního letiště bude zvolené řešení technicky proveditelné po celou dobu realizace a bude splňovat náročné okrajové podmínky.

Společným jmenovatelem úspěšného zvládnutí projektu i výstavby v podmínkách časového tlaku je bezchybná koordinace prací a schopnost všech zúčastněných subjektů operativně přijímat rozhodnutí i akceptovat kompromisní návrhy. Neméně důležitá je potom také akceptace nepřenesení odpovědnosti za systémová rizika na pozdější fáze přípravy.

*Ing. JAKUB VLADÍK,
jakub.vladik@sagasta.cz,
SAGASTA s.r.o.*

Recenzoval / Reviewed by: Ing. Boris Šebesta

The cut-and-cover variant was also chosen with regard to minimising investment costs associated with construction. When excavating underneath a ceiling or using other measures done in advance to enhance conditions for the construction, it is possible to expect an increase in cost. Time-related costs due to limited traffic on the D6 motorway or traffic closures of airport operations have not yet been quantified.

3 CONCLUSION

The Hostivice tunnel presents one of the most challenging parts of the tunnel complex underneath the Prague airport from the viewpoint of technical design, logistics, and primarily construction schedule. The difficulty of the design does not arise only from technical parameters of the structure, but mainly from a combination of intertwined geotechnical, co-ordinational, operational, and time risks that accumulate at the airport.

It is possible to designate two key areas of the current preparation phase. The first one is the preparation of a complex risk analysis that takes into account the tunnel complex as a whole, which is possible to link to surrounding related airport structures, construction-wise and time-wise. Adopted measures for risk mitigation should also accept the already issued intent permissions (building permits) of the Aviatická tunnel and the Prague – Václav Havel Airport railway station to the fullest extent possible so that a delay in the preparation of these structures would not occur, and therefore, even a delay in the commencement of construction work.

The second key area is the choice of technology and phasing of the RWY 12/30 runway underpass construction and of the crossing with the D6 motorway as well. The chosen variant of the cut-and-cover tunnel satisfies geotechnical and design requirements, although a decision regarding the final technology will not be made based only on identifying risks or on the pressure to decrease construction duration. A fundamental criterion in the decision for the construction process will be primarily the ability to correctly define and minimise risk and to ensure that the chosen solution will be technically feasible throughout the entire implementation in close proximity to the international airport and that it will meet all challenging boundary conditions.

A common denominator of successfully mastering the design and construction under time pressure is a faultless coordination of work and the ability of all participating subjects to flexibly adopt decisions and accept compromise suggestions. Also vital is to accept not passing on the responsibility for systemic risk to later preparation phases.

*Ing. JAKUB VLADÍK, jakub.vladik@sagasta.cz,
SAGASTA s.r.o.*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] SPRÁVA ŽELEZNIC. *Úseky*. Online. Železnice na letiště. 2026. Dostupné z: <https://zeleznice-na-letiste.cz/web/zeleznice-na-letiste/useky>. [cit. 2026-01-20].
- [2] LETIŠTĚ PRAHA. *Rozšíření terminálových kapacit*. Online. Lepší letiště. 2026. Dostupné z: <https://vaselepsiletiste.cz/plan-rozvoje>. [cit. 2026-01-20].
- [3] SPRÁVA ŽELEZNIC. *Novostavba železniční stanice Praha-Letiště Václava Havla*. Online. Železnice na letiště. 2026. Dostupné z: <https://zeleznice-na-letiste.cz/novostavba-zeleznici-stanice-praha-letiste-vaclava-havla>. [cit. 2026-01-20].
- [4] MINISTERSTVO DOPRAVY *Předpis L14*. Online. L14, Letecký předpis Letiště L14. č.j. 24/2014-220-LET/71. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-14/index.htm>. [cit. 2026-01-26].
- [5] BALÁŽ, M. a PRAJZLER, V. Kolektor Hangár G pro Letiště Václava Havla Praha – technické řešení a zkušenosti z výstavby. *Tunel*. 2026, roč. 35, č. 3, s. 40–52. ISSN 1211-0728.

KOLEKTOR HANGÁR G PRO LETIŠTĚ VÁCLAVA HAVLA PRAHA – TECHNICKÉ ŘEŠENÍ A ZKUŠENOSTI Z VÝSTAVBY HANGAR G UTILITY TUNNEL FOR VÁCLAV HAVEL AIRPORT PRAGUE – TECHNICAL SOLUTION AND CONSTRUCTION EXPERIENCE

MARTIN BALÁŽ, VLADIMÍR PRAJZLER

ABSTRAKT

Článek je věnován zpracování realizační dokumentace a ověření předpokladů projektu při realizaci raženého úseku kolektoru pro Letiště Václava Havla Praha, který je součástí akce „Stavba 1-Hangár G-kolektor“. Ražený tunel délky 298 m byl prováděn podle zásad Nové rakouské tunelovací metody (NRTM). Profil kolektoru svou plochou 29,3 m² převyšuje například profil jednokolejného traťového tunelu pražského metra. Tunel byl ražen s nadloží pouze 4 až 6 m. Provádění ražeb obnášelo celou řadu technických výzev a rizik. Mezi tyto výzvy patřila zejména ražba s nízkým nadloží v zeminách pod frekventovanou hlavní komunikací a významnými inženýrskými sítěmi, především vysokotlakým a středotlakým plynovým potrubím. V rámci realizační dokumentace byla provedena rozsáhlá optimalizace technického řešení ze zadávací dokumentace stavby (ZDS), která zahrnovala úpravu tvaru příčného řezu kolektoru, způsob členění výrubu, zajištění stability výrubu i čelby a upřesnění detailů pro zajištění vodonepropustnosti sekundárního ostění bez použití mezilehlé hydroizolace. Provedené úpravy projektové dokumentace umožnily významné úspory investičních nákladů a usnadnění výstavby. Dále je článek věnován získaným zkušenostem z vlastní realizace tunelu z pohledu projektanta při aplikaci observační metody ve složitých geotechnických podmínkách ražby s nízkým nadloží, při které byly prováděny další optimalizace zajištění výrubu.

ABSTRACT

This paper focuses on the preparation of the detailed design and the verification of the project assumptions during the construction of the mined section of a utility tunnel serving Václav Havel Airport Prague, which forms part of the project “Construction Section 1 – Hangar G Utility Tunnel.” The mined tunnel section, with a total length of 298m, was excavated in accordance with the principles of the New Austrian Tunnelling Method (NATM). With a cross-sectional area of 29.3m², the utility tunnel profile exceeds that of a typical single-track Prague Metro tunnel. The tunnel was excavated under an overburden of only 4 to 6m. The tunnelling works involved numerous technical challenges and risks. These challenges were primarily associated with shallow-cover excavation in soils beneath a heavily trafficked main roadway and in close proximity to major utility networks, particularly high-pressure and medium-pressure gas pipelines. As part of the detailed design phase, extensive optimization of the technical solution originally proposed Tender Design Documentation was carried out. The optimization included modifications to the utility tunnel cross-sectional shape, excavation sequencing, measures to ensure excavation and face stability, and refinement of details for achieving the watertightness of the secondary lining without the use of an intermediate waterproofing membrane. The implemented design modifications resulted in significant savings in investment costs and facilitated the construction process. Furthermore, the paper presents lessons learned from the tunnel construction phase from the designer's perspective, particularly regarding the application of the observational method in complex geotechnical conditions involving shallow-cover tunnelling, during which additional optimizations of excavation support measures were introduced.

ÚVOD

Ražený úsek kolektoru pro Letiště Václava Havla Praha je součástí akce „Stavba 1-Hangár G- kolektor“. Tato akce zahrnuje kromě raženého úseku také úsek hloubený, který není předmětem tohoto článku. Aktuálně prováděná stavba navazuje na stávající kolektorové trasy letiště a spolu s plánovanými úseky bude sloužit k propojení jeho páteřních inženýrských sítí. Projektční práce na realizační dokumentaci raženého tunelu byly zahájeny v prosinci 2024. Ražba tunelu probíhala v období od května do listopadu 2025. Následně navázaly práce na sekundárním ostění, které byly dokončeny na konci února 2026.

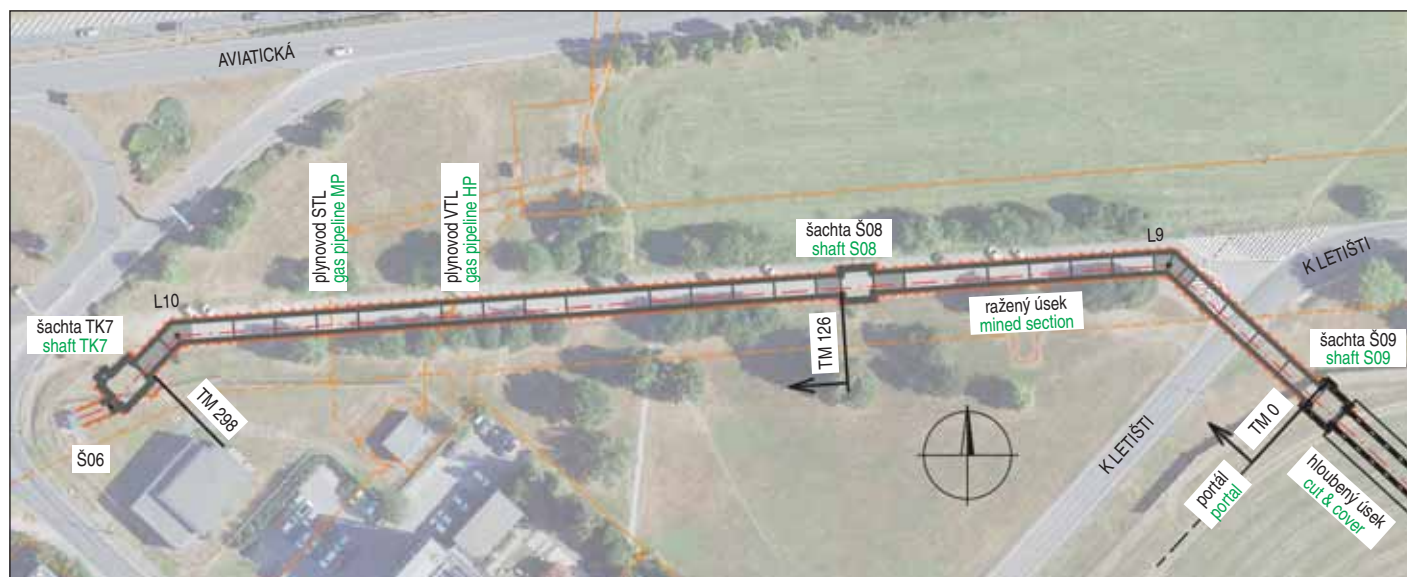
Investorem akce je Letiště Praha, a.s. Ražený úsek kolektoru provádí firma POHL cz, a.s., pro hlavního dodavatele celé stavby Metrostav CZ, s.r.o. Technický dozor investora při realizaci ražených úseků činností prováděných hornickým způsobem na stavbě zajišťuje společnost SG Geotechnika, a.s. Hlavním projektantem celé stavby je Ingutis, spol. s.r.o. [1], autorem realizační dokumentace raženého tunelu je projektční společnost Sagasta, s.r.o. [2].

INTRODUCTION

The mined section of the utility tunnel for Václav Havel Airport Prague forms part of the project “Construction Section 1 – Hangar G Utility Tunnel.” In addition to the mined section, the project also includes a cut-and-cover section, which is not discussed in this paper. The currently implemented project connects to the airport's existing utility tunnel network and, together with planned future sections, will provide an integrated backbone system for the airport's utility infrastructure.

Design work on the detailed design documentation for the mined tunnel commenced in December 2024. Tunnel excavation was carried out between May and November 2025, followed by construction of the secondary lining, which was completed at the end of February 2026.

The project owner is Prague Airport, a.s. The mined section of the utility tunnel is being constructed by POHL cz, a.s. on behalf of the main contractor for the entire project, Metrostav CZ, s.r.o.



Obr. 1 Situace raženého úseku kolektoru

Fig. 1 Layout of mined section of the utility tunnel

Profil raženého kolektoru s plochou výrubu $29,3 \text{ m}^2$ je podkovo-vitého tvaru se spodní klenbou. Ražba tunelu byla prováděna s horizontálně členěným výrubem na kalotu a opěři podle zásad NRTM. Sekundární ostění je navrženo z betonu odolného proti průsakům vody bez použití hydroizolace.

Ražený úsek kolektorové trasy s délkou 298 m navazuje na hloubené šachty Š09 a TK7, přibližně v polovině je tento úsek rozdělen šachtou Š08. Tunel je v celé délce veden v přímé se dvěma lomy bez zaoblení osy (obr. 1).

Niveleta tunelu v celém úseku stoupá s ohledem na výškové napojení na stávající šachtu Š06 (obr. 2). Od začátku ražby (TM 0) v šachtě Š09 niveleta stoupá ve sklonu $0,6 \%$ k šachtě Š08, v dalším úseku ražby od Š08 niveleta stoupá ve sklonu $2,5 \%$ ke komoře TK7, výškové lomy nejsou zaobleny. Ražba tunelu probíhala na dvou nezávislých pracovištích ze šachet Š09 a Š08.

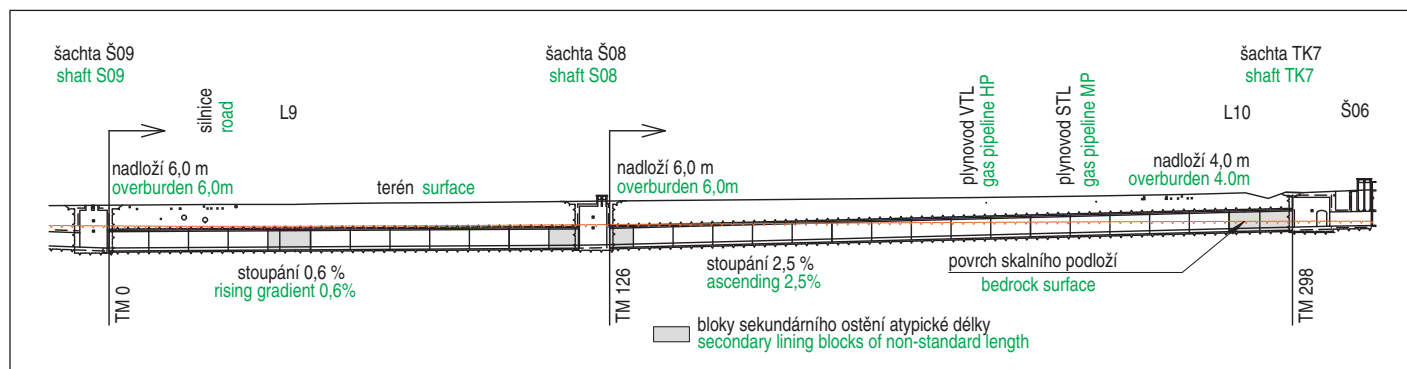
V nadloží tunelu, které činí pouhé 4 až 6 m, se nachází velké množství inženýrských sítí. Trasu křížují dva plynovody, tři kanalizace, propustek a celá řada kabelů sdělovacího a silového vedení. Paralelně s tunelem vedou dva vodovody a neprovozovaný horkovod. Z hlediska citlivosti na deformační projevy ražby jsou kritické především plynovody (vysokotlaký a středotlaký). Další důležitou konstrukcí na povrchu nad raženým profilem je provozovaná ulice K Letišti s frekventovanou autobusovou a trolejbusovou dopravou. Přítomnost těchto objektů, které nebylo možné přeložit, byla důvodem pro volbu technologie ražení s nízkým nadložím namísto technicky jednodušší a méně rizikové metody hloubení.

Construction supervision on behalf of the owner for the mined sections carried out using mining methods is provided by SG Geotechnika, a.s. The lead designer of the overall project is Ingutis, spol. s r.o. [1], while the detailed design documentation for the mined tunnel was prepared by Sagasta, s.r.o. [2].

The mined utility tunnel has a horseshoe-shaped profile with an invert and an excavation area of $29,3 \text{ m}^2$. Excavation was performed using a horizontally divided excavation sequence consisting of the top heading and bench according to the principles of the New Austrian Tunnelling Method (NATM). The secondary lining was designed as a watertight concrete structure without the use of a waterproofing membrane.

The mined section of the utility tunnel, with a total length of 298m, connects shafts Š09 and TK7, and is divided approximately at its midpoint by shaft Š08. Along its entire length, the tunnel alignment is straight, incorporating two angular breaks without horizontal curvature (Fig. 1).

The tunnel gradient rises continuously throughout the section in order to achieve the required elevation connection to the existing shaft Š06 (Fig. 2). From the start of excavation (TM 0) at shaft Š09, the tunnel invert rises at a gradient of $0,6\%$ toward shaft Š08. Beyond Š08, the gradient increases to $2,5\%$ toward the TK7 chamber. Vertical breaks in the alignment are not rounded. Excavation was carried out simultaneously from two independent working faces accessed through shafts Š09 and Š08.



Obr. 2 Podélný profil raženého úseku kolektoru

Fig. 2 Longitudinal section of the mined utility tunnel

GEOTECHNICKÉ PODMÍNKY

Před zahájením projekčních prací na realizační dokumentaci měl projektant k dispozici výsledky geotechnického průzkumu, který zpracovala firma Chemcomex, a.s., v roce 2019. V oblasti raženého úseku kolektoru délky necelých 300 m bylo k dispozici celkem pět jádrových vrtů hloubky 5 až 12 m.

Kvartérní pokryv mocnosti přibližně 6 m tvoří navážky, sprašové hlíny třídy F6–F5 a spraše třídy F6, dále deluviální jíly a písčité jíly s úlomky třídy F8 až F4.

Horniny skalního podkladu tvoří písčité slínovce různého stupně zvětvávání a rozpukání. Při povrchu skalního podloží se vyskytují silně zvětralé písčité slínovce, s intenzivním rozpukáním, zařazené R6–R5. Hluběji se nacházejí písčité slínovce zvětralé, rozpukané s převážně otevřenými puklinami s jílovitou výplní, třídy R5–R4. Vrstvy slínovců s deskovitou odlučností jsou uloženy prakticky vodorovně. Mocnost těchto slínovcových desek je proměnná a pohybuje se v hodnotách jednotek decimetrů.

V předmětném úseku je mocnost nadloží kolektoru mezi 6 m (u šachty Š09) až 4 m (u šachty TK7), počva podzemního díla

Within the shallow overburden of only 4 to 6 m, a large number of utility services are located above the tunnel. The tunnel route crosses two gas pipelines, three sewer lines, a culvert, and numerous communication and power cables. In addition, two water mains and an out-of-service district-heating pipeline run parallel to the tunnel. From the perspective of sensitivity to excavation-induced ground movements, the most critical structures were the high-pressure and medium-pressure gas pipelines.

Another key surface structure situated directly above the tunnel alignment is the operational K Letišti Street, which carries heavy bus and trolleybus traffic. The presence of these facilities, which could not be relocated, was a major factor in selecting a shallow-cover tunnelling solution rather than the technically simpler and less risky cut-and-cover construction method.

GEOTECHNICAL CONDITIONS

Prior to the commencement of detailed design work, the designer had access to the results of a geotechnical investigation carried out by Chemcomex, a.s. in 2019. Within the approximately 300m long mined section of the utility tunnel, a total of five cored boreholes with depths ranging from 5 to 12m were available.

The Quaternary overburden, approximately 6 m thick, consists of fill materials, loess clays of classes F6–F5, loess of class F6, and deluvial clays and sandy clays with rock fragments classified as F8 to F4.

The bedrock is formed by sandy marlstones exhibiting varying degrees of weathering and fracturing. Near the top of the bedrock, highly weathered sandy marlstones with intense fracturing (classes R6–R5) are present. At greater depths, the rock mass consists of weathered fractured sandy marlstones with predominantly open joints filled with clay, classified as R5–R4. The marlstone strata exhibit a pronounced slab-like bedding and are deposited in an almost horizontal orientation. The thickness of individual marlstone slabs is variable and generally ranges within several decimetres.

Along the section under consideration, the tunnel overburden decreases from approximately 6m near shaft Š09 to 4m near shaft TK7, while the tunnel invert is located at depths of approximately 12 to 10m below ground surface. Under these conditions, the tunnel profile in the vicinity of shaft Š09 is situated within weathered marlstones and partly within highly weathered marlstones (Fig. 3), whereas the entire overburden above the tunnel consists of Quaternary deposits.

In the direction of chainage, i.e., toward shaft Š08, the tunnel gradient rises and the utility tunnel profile progressively extends into the Quaternary cover deposits. From shaft Š08 toward shaft TK7, part of the tunnel crown is located within the Quaternary deposits. In the vicinity of shaft TK7, almost the entire top heading section is excavated in the Quaternary cover materials (Fig. 4). Throughout the entire top heading length, however, footing of the top heading remains located within the bedrock formations.

A continuous groundwater table is situated approximately 10 to 16m below the tunnel invert and therefore has no significant influence on the tunnel excavation.



Obr. 3 Čelba kaloty tvořená písčitými slínovci s deskovitou odlučností (TM 66)
Fig. 3 Top heading face formed by sandy marlstones with slab-like bedding (TM 66)



Obr. 4 Čelba kaloty tvořená jílovitými zeminami s písčitou příměsí (TM 264)
Fig. 4 Top heading face formed by sandy clay (TM 264)

zasahuje do hloubek 12 až 10 m pod povrchem terénu. Za těchto podmínek je v blízkosti šachty Š09 profil tunelu umístěn ve zvětřalých slínovcích, částečně i silně zvětřalých slínovcích (obr. 3), přitom je celá výška nadloží tvořená kvartérními pokryvy. Ve směru staničení, tj. směrem k šachtě Š08, niveleta díla stoupá a kolektor postupně zasahuje částí svého profilu do kvartérních pokryvů. Od šachty Š08 směrem k šachtě TK7 je část kaloty vedena v kvartérním pokryvu. V blízkosti šachty TK7 je prakticky celá plocha kaloty ražena v kvartérních pokryvech (obr. 4). Pata kaloty se v celém úseku ražby nachází vždy v materiálech skalního podloží.

Spojité hladina podzemní vody se nachází přibližně 10 až 16 m pode dnem tunelu a nijak ho tedy neovlivňuje.

OPTIMALIZACE TVARU PŘÍČNÉHO ŘEZU

Výchozí bod realizační dokumentace spočíval v optimalizaci tvaru příčného řezu kolektoru (obr. 5). Návrh optimalizace příčného řezu vychází z vlivu tvaru výrubu na statické funkce primárního a sekundárního ostění. Tvar výrubu má vliv na provádění a stabilitu primárního ostění při ražbě, lépe vzdoruje zemnímu tlaku a zvyšuje stabilitu díla při ražbě. Tvar sekundárního ostění je přizpůsoben hlavně vedení požadovaných sítí v kolektoru.

V případě sekundárního ostění optimalizace souvisí s přizpůsobením dimenzí konstrukce předpokládanému zatížení. Jednalo se především o plynulé zvětšení tloušťky ostění směrem od vrcholu klenby k jeho bokům. Dále byl v novém návrhu zesílen průřez v místě napojení boků ostění na spodní klenbu, kde lze očekávat zvýšené namáhání ohybovými momenty a posouvající silou. Cílem optimalizace bylo zajištění příznivějšího namáhání konstrukce a snížení rizika vzniku trhlin v sekundárním ostění, neboť ostění kromě nosné funkce zajišťuje i vodotěsnost kolektoru. Vznik trhlin, které je možné sanovat pouze na lici ostění, může mít vzhledem k riziku koroze výzvu negativní vliv nejen na vodotěsnost, ale především na životnost nosné konstrukce.

Vnitřní světélé rozměry sekundárního ostění byly navrženy s ohledem na požadované průchozí prostory a množství vedení inženýrských sítí s kabelovými lávkami. Světélá šířka kolektoru je 4,25 m a světélá výška je 4,10 m.

Všechny změny tvaru primárního i sekundárního ostění byly podrobně ověřeny statickými výpočty v programech GEO-MKP (FINE spol. s r.o.) a SCIA Engineer (Allplan Česko s.r.o.).

Pro komplexní koordinaci celého projektu a budoucí správu objektu byl hlavním projektantem stavby (Ingutis, spol. s r.o.) připraven digitální model BIM.

RAŽBA A PRIMÁRNÍ OSTĚNÍ

Původní návrh

V ZDS (jejíž součástí byl i projekt dokumentace pro povolení stavby) byl výrub členěn na kalotu a opěří, přičemž výrub kaloty byl dále vertikálně rozdělen na další dva dílčí výrubu. Ve výkresové dokumentaci ZDS byla navržena jenom jedna technologická třída.

Zatímco po obvodu kolektoru bylo navrženo primární ostění

CROSS-SECTION OPTIMIZATION

The starting point for the detailed design documentation was the optimization of the utility tunnel cross-section (Fig. 5). The proposed optimization was based on the influence of excavation geometry on the structural performance of both the primary and secondary linings. The shape of the excavation affects the construction process and stability of the primary lining during tunnelling, provides improved resistance to ground pressure, and enhances overall excavation stability. The geometry of the secondary lining was primarily adapted to accommodate the required utility services within the utility tunnel.

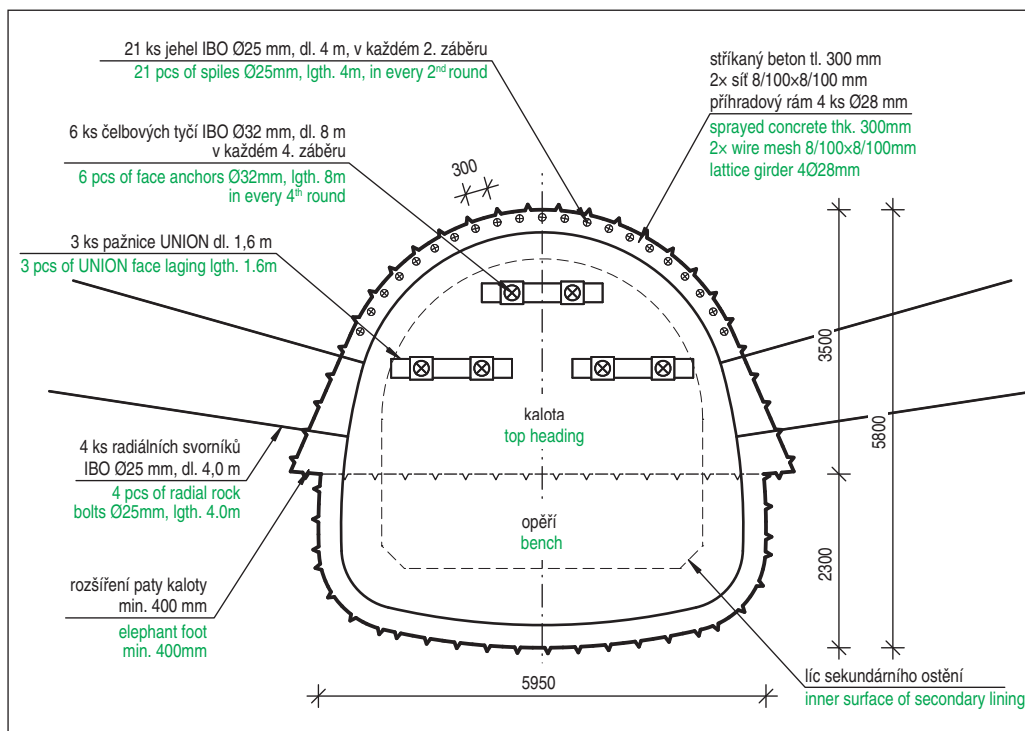
In the case of the secondary lining, the optimization was related to adapting the structural dimensions to the anticipated loading conditions. The principal modification consisted of a gradual increase in lining thickness from the crown toward the sidewalls. In addition, the cross-section was strengthened at the junction between the sidewalls and the invert, where increased stresses due to bending moments and shear forces were expected. The objective of the optimization was to achieve a more favourable structural response and reduce the risk of cracking in the secondary lining, since the lining serves not only a load-bearing function but also provides the watertightness of the utility tunnel.

The formation of cracks, which can be repaired only from the exposed inner surface of the lining, could adversely affect not only watertightness but, more importantly, the durability of the structure because of the potential risk of reinforcement corrosion.

The internal dimensions of the secondary lining were designed with regard to the required access clearances and the number of utility installations and cable support systems. The clear width of the utility tunnel is 4.25m, and the clear height is 4.10m.

All modifications to the geometry of both the primary and secondary linings were thoroughly verified by structural analyses using the software packages GEO-MKP (FINE spol. s r.o.) and SCIA Engineer (Allplan Česko s.r.o.).

For comprehensive project coordination and future asset management, a BIM digital model was prepared by the lead designer, Ingutis, spol. s r.o.



Obr. 5 Optimalizovaný návrh technologické třídy výrubu
Fig. 5 Optimised design of the support class

tloušťky 300 mm se dvěma vrstvami sítí 10/100 × 10/100 mm a obdélníkovými příhradovými rámy se šesti nosnými pruty, bok dílčího výrubu kaloty zajišťovala v prostředí zemin pouze vrstva stříkaného betonu tloušťky 70 mm s jednou sítí 10/100 × 10/100 mm. V kalotě byla navržena relativně plochá spodní klenba ze stříkaného betonu tloušťky 200 mm vyztužená dvěma vrstvami sítí 10/100 × 10/100 mm. Čelba kaloty (tj. oba dílčí výrubu) byla zajištěna 15 ks sklolaminátových tyčí (svorníků) délky 8 m, čelba opěří 5 ks stejných typů tyčí. Požadované minimální překrytí čelbových tyčí bylo 2 m, v místě překrytí byla tedy čelba o ploše výrubu necelých 30 m² zajištěna celkem 40 ks sklolaminátových tyčí. V prvním dílčím výrubu kaloty byly pro stabilizaci výrubu použity 3 ks ocelových jehel o délce 6 m, po vyražení druhého dílčího výrubu kaloty bylo doplněno dalších 6 ks jehel do celkového počtu 9 ks. Požadovaný překryv jehel byl 2 m.

Nový návrh

Nový staticky příznivější tvar příčného řezu umožnil společně s dalšími úpravami návrhu zrušení vertikálního členění výrubu kaloty a spodní klenby kaloty. Odstranění těchto prvků bylo klíčové pro optimalizaci technologického postupu prací, nasazení výkonných strojů pro ražbu, odvoz rubaniny a nástřik primárního ostění. Rychlost ražby má v případě nepříznivých geotechnických poměrů s nízkým nadložím zásadní význam – redukuje rozvoj deformací raženého díla. Jedním z hlavních cílů optimalizace návrhu ražeb bylo umožnit zhotoviteli relativně rychlé zajištění stability výrubu primárním ostěním po provedení záběru. Ze statického hlediska není optimální ani spojování výztužných příhradových rámu v nejvíce namáhaném průřezu ve vrcholu klenby, což by původně navržené vertikální členění výrubu kaloty vyžadovalo.

V novém návrhu byla funkce spodní klenby kaloty nahrazena kombinací kotvení boků a rozšířenou patou kaloty. Radiální svorníky IBO délky 4 m v počtu 4 ks na záběr byly navrženy pro omezení vodorovných deformací. Smyslem rozšířené paty je redukovat sedání kaloty jako celku. Výhodou rozšíření paty kaloty oproti dočasné spodní klenbě je příznivější působení při následné ražbě opěří. Vybourání dočasné spodní klenby vnáší nové nežádoucí namáhání do již vyzrálého betonového ostění kaloty.

Další zásadní úpravou návrhu byla změna systému kotvení a pažení čelby. Toto opatření bylo navrženo pro omezení rizika spojeného s její nestabilitou. V případě ztráty stability čelby hrozí nekontrolovatelné zvětšení délky záběru a následné prolomení nadloží. Předpokládanému mechanismu porušení stability čelby je nutné vzdorovat kotevními prvky s vysokou pevností ve střihu. Z tohoto důvodu byla provedena náhrada sklolaminátových tyčí na čelbě ocelovými svorníky IBO délky 8 m (min. překryv 4 m) aktivovanými cementovou maltou, s pažením čelby pomocí pažnic UNION. Vnější závit kotevních tyčí IBO zároveň umožňuje dotahování pažnic UNION a jejich aktivaci po provedení každého záběru. V novém návrhu jsou sklolaminátové tyče v počtu 20 ks nahrazeny ocelovými svorníky IBO v počtu 6 ks.

Pro stabilizaci výrubu bylo navrženo předstihové opatření prostřednictvím ocelových jehel. V novém návrhu jsou nahrazeny jehly Ø 25 mm délky 6 m v počtu 9 ks stejným typem jehel o délce 4 m v počtu 21 ks. Překryv jehel v podélném směru je 2 m a oproti původnímu návrhu se nemění. Důvodem této úpravy byla snaha o minimalizaci nadvýrubů s ohledem na délku záběru a úhel vtáčení jehel.

Veškeré vtáčení pro kotvení bylo v daném geotechnickém prostředí prováděno bez vodního výplachu. Použití vodního výplachu by způsobilo degradaci horninového masivu a zhoršilo podmínky pro další ražbu. Z tohoto důvodu byly také zrušeny horizontální jádrové předvrty,

EXCAVATION AND PRIMARY LINING

Original Design

In the Tender Design Documentation, which also included the design submitted for construction permitting, the excavation was divided into a top heading and bench, with the heading excavation further subdivided vertically into two partial excavation sequences. Only a single excavation support class was specified in the tender design drawings.

While the perimeter of the utility tunnel was designed with a 300mm thick primary lining reinforced with two layers of welded wire mesh (10/100 × 10/100mm) and rectangular lattice girders with six load-bearing bars, the sidewall of the partial heading excavation in soil conditions was supported only by a 70mm thick layer of shotcrete reinforced with a single layer of 10/100 × 10/100mm welded mesh.

A relatively flat temporary invert of the top heading heading was designed using 200mm thick shotcrete, reinforced with two layers of 10/100 × 10/100mm welded mesh.

The top heading face (i.e., both partial heading excavations) was supported by 15 glass-fibre reinforced polymer (GFRP) face bolts with a length of 8m, while the bench face was supported by 5 bolts of the same type. A minimum overlap length of 2m was specified between successive installations. Consequently, within the overlap zone, the excavation face, with a cross-sectional area of almost 30m², was reinforced by a total of 40 GFRP face bolts.

For excavation stabilization, three steel spiles of 6m length were installed in the first partial heading excavation. After completion of the second partial heading excavation, an additional six spiles were installed, resulting in a total of nine spiles. The required overlap length between spiles was 2m.

Revised Design

The new, structurally more favourable cross-sectional shape, together with other design modifications, made it possible to eliminate both the vertical subdivision of the top heading excavation and the temporary invert of the top heading. The removal of these elements was crucial for optimizing the construction process and enabling the use of high-performance equipment for excavation, muck removal, and shotcrete application. In unfavourable geotechnical conditions with shallow cover, the rate of advance is of fundamental importance, as it reduces the development of deformations above the excavation. One of the principal objectives of the excavation design optimization was therefore to allow the contractor to achieve rapid stabilization of the excavation by means of the primary lining immediately after each excavation round. From a structural perspective, splicing lattice girders at the crown, where internal forces are greatest, is also undesirable; however, this would have been necessary under the originally proposed vertical subdivision of the top heading excavation.

In the revised design, the function of the temporary heading invert was replaced by a combination of sidewall anchoring and an elephant foot of the top heading. Four 4 m long IBO radial rock bolts were installed per excavation round to limit horizontal deformations. The purpose of the elephant foot was to reduce overall settlement of the top heading. Compared with a temporary invert, the elephant foot also provides a more favourable structural response during subsequent bench excavation. The demolition of a temporary invert introduces additional undesirable stresses into the already hardened shotcrete lining of the top heading.

Another major modification involved the face support and anchoring system. This measure was introduced to reduce the risk associated with potential face instability. Loss of face stability could result in uncontrolled extension of the excavation round and,

základní informace o poměrech v předpolí ražby byly průběžně získávány z geotechnického sledování při vrtání pro čelbové tyče.

Další významnou optimalizací byla úprava příhradových rámu a sítí. V předchozím stupni dokumentace byly navrženy obdélníkové průřezy rámu se 6 pruty $\varnothing 32$ mm. Na základě nového staticky příznivějšího tvaru příčného řezu tunelu a upřesnění zatížení byly navrženy subtilnější rámy se 4 pruty $\varnothing 28$ mm, přičemž trojúhelníkového průřezu je dosaženo umístěním spodních prutů vedle sebe. To umožňuje snadnější přístup pro vrtání jehel s minimálním odklonem od obrysu výrubu. Výztužné sítě primárního ostění byly odlehčeny z typu 10/100 $\times$ 10/100 mm na typ 8/100 $\times$ 8/100 mm. Návrh subtilnějších rámu a sítí je vhodný také z hlediska manipulace a montáže v tunelu.

Průběh ražby

Ražba tunelu probíhala dle zásad NRTM. Vzhledem k nízkému nadloží, velikosti výrubu a prostředí zemin byla navržena jen jedna technologická třída výrubu pro celý úsek ražby, která postihovala nejnejpříznivější očekávané podmínky. Observační metodu bylo proto v daných poměrech možné využít pouze v omezeném rozsahu.

První rozrážka tunelu proběhla z úrovně dna šachty Š08 ve směru TK7, materiál z prvního záběru ražby kaloty sloužil k vytvoření rampy do kaloty pro ražbu dalších záběrů. Veškerá doprava strojů, materiálu a rubaniny probíhala v šachtě pomocí jeřábu RDK 300. V závislosti na konkrétním technologickém kroku ražby bylo zpočátku nutné veškeré stroje opakovaně vytahovat a spouštět (obr. 6). Tento zdoluhavý proces omezoval rychlost ražby až do doby, kdy byl v podzemí vytvořen dostatečný prostor pro odstavení celé strojní sestavy.

V úvodním úseku ražby byl výrub kaloty prováděn postupně na tři části, vždy byla odstraněna pouze jedna pažnice. Po demontáži pažnice v příslušné části čelby následovalo rozpojování tunelbagrem, stabilizační nástřik stříkaným betonem, nakonec opětovné osazení a aktivace pažnice přitahením ke zkrácené dvojici čelbových tyčí IBO. K instalaci vnějších sítí a příhradových rámu bylo možné při tomto postupu přistoupit až po kompletním provedení všech tří částí výrubu kaloty, což bylo časově relativně náročné.

ultimately, sinkhole in the overburden. The anticipated face failure mechanism requires support elements with high shear resistance. For this reason, the original glass-fibre reinforced bolts were replaced by 8m long self-drilling steel IBO anchors, installed with a minimum overlap of 4m and activated by cement grout, while the excavation face was supported using UNION face lagging. The external thread of the IBO anchor bars also allows the UNION face lagging to be tightened and activated after each excavation round. In the revised design, the original arrangement of 20 glass-fibre bolts was replaced by only 6 steel IBO anchors, providing significantly greater support capacity.

For excavation stabilization, a pre-support system using steel spiles was adopted. In the revised design, the original nine 6m long spiles of 25mm diameter were replaced by twentyone spiles of the same diameter but only 4m in length. The longitudinal overlap remained unchanged at 2m. The purpose of this modification was to minimize overbreak in relation to the excavation round length and the drilling angle of the spiles.

All drilling operations associated with rock bolting were carried out without water flushing in the prevailing geotechnical conditions. The use of water flushing would have caused degradation of the ground and deterioration of excavation conditions. For the same reason, the originally proposed horizontal core probe drilling ahead of the face was eliminated. Instead, key information regarding ground conditions ahead of the excavation was continuously obtained through geotechnical observations during drilling for the face support anchors.

A further important optimization concerned the lattice girders and welded wire mesh reinforcement. In the previous design stage, rectangular lattice girders incorporating six $\varnothing 32$ mm bars had been specified. Based on the revised, structurally more efficient tunnel geometry and a refined assessment of loading conditions, lighter lattice girders consisting of four $\varnothing 28$ mm bars were designed. A triangular girder configuration was achieved by placing the lower bars side by side. This arrangement provides improved access for spiles drilling with only minimal deviation from the excavation profile.

The reinforcement mesh of the primary lining was also optimized, being reduced from 10/100 $\times$ 10/100mm mesh to 8/100 $\times$ 8/100mm mesh. The use of lighter lattice girders and mesh reinforcement also proved advantageous from the standpoint of handling and installation in the tunnel.

Excavation Progress

The tunnel was excavated in accordance with the principles of the New Austrian Tunnelling Method (NATM). Owing to the shallow overburden, the relatively large excavation cross-section, and the predominance of soil conditions, only a single excavation support class was designed for the entire tunnel length, covering the most adverse anticipated ground conditions. Consequently, the application of the observation method was possible only to a limited extent.

The first excavation round commenced from the bottom of shaft Š08 in the direction of TK7. Material excavated from the initial top-heading round was used to construct an access ramp for subsequent excavation works. All transportation of equipment, materials, and



Obr. 6 Rozrážka ze šachty Š08

Fig. 6 Excavation opening from the shaft Š08

Během ražby probíhalo podrobné sledování chování horninového masivu, zejména ve fázi rozpojování kaloty pomocí tunelbagru. Toto sledování, ze kterého byly pravidelně pořizovány videozáznamy, poskytovalo společně s výsledky geotechnického monitoringu komplexní představu o stabilitních poměrech čelby, obnaženého líce výrubu a primárního ostění. Na základě získaných zkušeností s konkrétními poměry pro ražbu bylo přistoupeno k postupné redukci výztužných prvků a zjednodušení postupu provádění.

S ohledem na relativně příznivé chování horninového masivu při ražbě byl upraven postup provádění kaloty pouze na jednu fázi a vypuštěn požadavek na systémové osazování pažnic UNION na čelbě. Tyto pažnice zůstaly stále připravené na stavbě a byly osazovány pouze v případě zastižení lokálních nestabilit čelby v přístropí. Dále byl zredukován počet čelbových zajišťovacích tyčí z 6 ks na 2 ks v každém čtvrtém záběru. Prováděny byly pouze dvě čelbové tyče v přístropí, na které bylo možné v případě potřeby osadit pažnici UNION. Vypuštěny byly také radiální svorníky a mírně prodloužena maximální přípustná délka záběru. Realizovaná délka záběru byla vždy přizpůsobena konkrétním podmínkám na čelbě a pohybovala se mezi 0,7 m a 1,1 m.

Jako zásadní, pro ražbu příznivé faktory, lze označit především vodorovné uložení slínovcových desek a soudržnost jílovitých zemin. Během ražby nebyly zastiženy žádné písčité čočky s vodou.

V průběhu ražeb byly vyzkoušeny různé postupy rozpojování čelby kaloty a typy nástrojů osazené na tunelbagrech (např. Takeuchi TB370). V případě stabilnějších poměrů byla čelba kaloty rozebírána pomocí impaktoru, a to od spodní části směrem nahoru pro snadnější odlamování slínovcových desek. V prostředí zemin s nejnižším nadloží byl naopak volen opatrnější postup odebrání materiálu směrem odshora do boků s ponecháním čelbového klínu; rozpojování v tomto prostředí probíhalo například dvojzubem. Čelbový klín zlepšoval stabilitní poměry během práce tunelbagru a průběžného odvážení rubaniny pomocí nakladačů (obr. 7). Při závěrečné profilaci výrubu však musel být klín vždy odstraněn, protože omezoval prostor pro kvalitní provedení stříkaného betonu, zejména při zástřiku směrem od čelby pro vyplnění případných dutin na rubu ostění.

Rozpojování opěří probíhalo vždy v prostředí slínovcových desek, v této fázi byla již k dispozici výška celého tunelu, a proto bylo možné využít výkonnější tunelbagr, např. CAT 308C CR (obr. 8). V pozadí je vidět také čelba kaloty, na které jsou zastaveny práce

excavated spoil through the shaft was performed using an RDK 300 crane. Depending on the particular stage of the excavation process, all equipment initially had to be repeatedly lowered into and lifted out of the shaft (Fig. 6). This time-consuming procedure limited the excavation rate until sufficient underground space became available for parking the complete excavation equipment set underground.

At the beginning of the excavation works, the top heading face was excavated in three successive sections, with only one face board removed at a time. After removal of the face board from the relevant section, excavation was carried out using a tunnel excavator, followed by the application of stabilizing shotcrete. The face board was then reinstalled and activated by tightening it against a shortened pair of IBO face anchors. Under this procedure, the installation of the external reinforcement mesh and lattice girders could only commence after all three sections of the top heading had been excavated, making the process relatively time-consuming.

Throughout the excavation works, detailed observations of ground behaviour were carried out, particularly during excavation of the top heading using tunnel excavators. The observations, which were regularly documented by video recordings, together with the results of geotechnical monitoring, provided a comprehensive understanding of the stability conditions of the excavation face, the exposed excavation perimeter, and the primary lining.

Based on the experience gained under the actual excavation conditions, the support system was progressively simplified and the amount of reinforcement reduced.

Due to the relatively favourable behaviour of the ground during excavation, the top heading excavation procedure was modified to a single-stage operation, and the requirement for the systematic installation of UNION face boards was removed. The face boards remained available on site and were installed only where local face instability developed near the crown. The number of face support anchors was also reduced from six anchors to two anchors in every fourth excavation round. Only two face anchors at the crown were maintained, providing attachment points for UNION face boards whenever required.

The radial rock bolts were also omitted, and the maximum permissible excavation round length was slightly increased. The actual round length was always adjusted to the prevailing face conditions and ranged between 0.7m and 1.1m.

The most significant factors contributing to favourable excavation conditions were the sub-horizontal bedding of the marlstone slabs and the cohesive nature of the clayey soils. No water-bearing sand lenses were encountered during excavation.

During the tunnelling works, different excavation techniques and excavator tools (for example, on a Takeuchi TB370) were tested. Under more stable ground conditions, the top heading face was excavated using a hydraulic impact hammer, progressing from the bottom upward to facilitate breakage of the marlstone slabs. In soil conditions beneath the shallowest overburden, a more cautious approach was adopted, removing material from the top downward toward the sides while leaving a face wedge in place. In such conditions, excavation was carried out using, for example, a double ripper tooth.

The face wedge enhanced stability during excavator operations and the continuous removal of excavated material using loaders (Fig. 7). During final profiling of the excavation, however, the wedge always had to be removed because it restricted access for the proper application of shotcrete, particularly when spraying from the face toward



Obr. 7 Ražba kaloty (TM 264)

Fig. 7 Top heading excavation (TM 264)

z důvodu ražby opěří, čelba je zajištěna aktivovanými pažnicemi UNION.

Prorážka do šachty TK7 proběhla dne 8. 11. 2025 (obr. 9).

Ražba ze šachty Š09 směrem k Š08, pod provozovanou ulicí K Letišti, probíhala se zkrácenou délkou záběru na 0,8 m v délce cca 10 m, s aktivním pažením čelby. V dalším postupu ražeb byla uplatněna obdobná úsporná opatření popsaná výše na úseku ražeb z Š08 do TK7.

Tmavé skvrny na primárním ostění na obr. 10 nejsou průsaky, ale místa po čerstvém nástřiku betonu, který byl proveden v rámci profilace.

Postupy ražeb byly pravidelně diskutovány a upřesňovány na kontrolních dnech monitoringu, které probíhaly jednou za 14 dní. Pomocí observační metody bylo možné reagovat na zastiženou geologii a skutečné chování horninového masivu. Někde bylo nutné vystrojovací prvky přidat, jinde je bylo možné ubrat. To vše v rámci jediné technologické třídy výrubu navržené pro nejhorší předpokládané geotechnické podmínky.

Geotechnický monitoring a vyhodnocení jeho výsledků

V rámci provádění tunelu probíhal komplexní geotechnický monitoring, který zajišťovala společnost GeoTec GS, a.s. Monitoring probíhal na povrchu i v tunelu, jednalo se o geotechnickou pasportizaci čeleb v každém záběru, geodetické měření deformací primárního ostění a poklesové kotliny na povrchu. Výsledky monitoringu byly průběžně porovnávány s předpoklady projektu.

Hloubení šachet a dokumentování čeleb během ražby potvrdilo geologickou skladbu horninového masivu predikovanou průzkumem. Povrch skalního podloží se nachází v hloubce přibližně 6 m pod terénem.



Obr. 8 Ražba jádra (TM 35)

Fig. 8 Bench excavation (TM 35)

the previously excavated section to fill potential voids behind the lining.

Bench excavation was always carried out within the marlstone strata. At this stage, the full tunnel height was available, making it possible to use larger and more powerful excavation equipment, such as a CAT 308C CR tunnel excavator (Fig. 8). Also visible in the background is the top heading face, where excavation had been temporarily suspended during bench excavation; the face was secured using activated UNION face boards.

Breakthrough into shaft TK7 was achieved on 8 November 2025 (Fig. 9).

Excavation from shaft Š09 toward Š08, beneath the operational K Letišti Street, was carried out using a reduced excavation round length of 0.8m over a distance of approximately 10m, combined with active face support. Beyond this section, excavation proceeded using similar cost-saving optimization measures to those successfully implemented on the section from Š08 to TK7.

The dark patches visible on the primary lining in Fig. 10 are not water leakages, but areas of freshly applied shotcrete used during excavation profile trimming.

Excavation procedures were regularly reviewed and refined during monitoring review meetings, held every two weeks. Through application of the observational method, it was possible to adapt support measures to the encountered geological conditions and the actual behaviour of the ground mass. In some locations, additional support elements were required, while in others support could be reduced. All such modifications were implemented within the framework of a single excavation support class, originally designed for the most adverse anticipated geotechnical conditions.

Geotechnical Monitoring and Evaluation of Results

A comprehensive geotechnical monitoring programme was implemented during tunnel construction and carried out by GeoTec GS, a.s. Monitoring was performed both at the surface and underground and comprised geological face mapping for every excavation round, geodetic measurements of primary lining deformations, and surface settlement monitoring. The monitoring results were continuously compared with the design assumptions.

The excavation of the shafts and the geological documentation of tunnel faces during construction confirmed the geological conditions predicted by the site investigation. The bedrock surface



Obr. 9 Prorážka do šachty TK7

Fig. 9 Break-through into the shaft TK7



Obr. 10 Primární ostění po profilaci

Fig. 10 Primary lining after profile trimming

Měření poklesů na povrchu terénu probíhalo vzhledem k nízkému nadloží tunelu nad celým raženým úsekem. Nivelační body byly uspořádány v profilech po 20 m orientovaných kolmo na podélnou osu kolektoru. Tyto příčné profily sloužily pro stanovení šířky a tvaru poklesové kotliny. Pro získání komplexních informací byly v oblasti provozované komunikace, křížení s plynovody a v závěrečném úseku ražby s nejnižším nadložím doplněny body pro stanovení podélné poklesové kotliny. Měřené poklesy povrchu se pohybovaly v závislosti na konkrétní výšce nadloží a poměrech na čelbě v hodnotách do 20 mm. Negativním faktorem, který částečně ovlivňoval velikost deformací, byl pohyb těžké stavební mechanizace nad raženým profilem. V případě profilu s nejnižším nadložím byly s ohledem na provádění prací v okolí šachty TK7 k dispozici pouze body přímo nad tunelem. Naměřené poklesy terénu odpovídaly předpokladům projektu.

Další sadu měření, jejichž výsledky bylo možné porovnat s předpoklady projektu, představovaly deformace primárního ostění. Tato měření probíhala v tunelu v profilech po 10 m, v každém profilu byly umístěny tři body v kalotě a dva body v opěři. Důležitým aspektem při hodnocení těchto výsledků byl okamžik osazení geodetických bodů (zrcátek). Osazení probíhalo z technologických důvodů zpravidla až při montáži vnitřních sítí, což odpovídalo vzdálenosti přibližně 2 až 3 m za čelbou. Tento typ měření proto poskytuje pouze omezenou informaci o celkových hodnotách deformací. Větší část deformací masivu proběhla před nultým měřením a rozhodující byl především trend průběhu výsledků. Měřené deformace primárního ostění v tunelu zpravidla nepřesahovaly 10 mm.

Ve všech profilech spolehlivě docházelo k ustálení měřených hodnot a výsledky se pohybovaly v rozsahu očekávaných deformací. V průběhu realizace nebyl překročen žádný předem stanovený varovný stav.

Technickou výzvou byla ražba v místě křížení s provozovanými plynovody (vysokotlaký a středotlaký). Před ražbou v daném úseku byly provedeny kopané sondy pro ověření prostorové polohy a stavu plynovodních potrubí. Na základě diagnostiky byly stanoveny hodnoty varovných stavů pro přípustné poklesy potrubí vyvolané ražbou tunelu. V rámci ochrany vysokotlakého plynovodu

was encountered at a depth of approximately 6m below ground level.

Due to the shallow tunnel cover, surface settlement monitoring was conducted along the entire mined tunnel section. Monitoring points were arranged in transverse profiles at 20m intervals, oriented perpendicular to the utility tunnel alignment. These cross-sections were used to determine the width and shape of the settlement trough. To obtain more comprehensive information, additional monitoring points were installed for longitudinal settlement measurements in the areas of the operational roadway, the gas pipeline crossings, and the final section of the tunnel where the overburden was at its minimum.

Measured surface settlements varied according to the local cover depth and excavation face conditions, reaching values of up to 20mm. One adverse factor that partially influenced the magnitude of measured deformations was the movement of heavy construction equipment above the tunnel

alignment. In the section with the lowest overburden, only monitoring points located directly above the tunnel were available because of construction activities in the vicinity of shaft TK7. The measured ground settlements were in good agreement with the design predictions.

Another set of measurements that could be directly compared with the design assumptions consisted of primary lining deformation monitoring. These measurements were performed at 10m intervals along the tunnel. Each monitoring section contained three survey points in the top heading and two points in the bench area.

An important aspect in the interpretation of these results was the timing of the installation of the geodetic targets (reflectors). For technological reasons, installation generally took place only during the placement of the inner reinforcement mesh, corresponding to a distance of approximately 2 to 3m behind the excavation face. Consequently, this monitoring method provided only limited information regarding the total deformation magnitude, because a substantial proportion of ground deformation had already occurred before the initial measurement. Therefore, the observed deformation trend was considered more significant than the absolute measured values. Measured primary lining deformations generally did not exceed 10mm.

In all monitored sections, the measured values reliably stabilized over time and remained within the range of expected deformations. No predefined warning threshold was exceeded during construction.

A particular technical challenge was the excavation at the crossings with the operational high-pressure and medium-pressure gas pipelines. Prior to tunnel excavation in these areas, trial pits were excavated to verify the exact position and condition of the pipelines. Based on the results of this investigation, warning thresholds for permissible pipeline settlements induced by tunnelling were established.

To protect the high-pressure gas pipeline from the effects of tunnelling, its protective casing was exposed in advance, allowing daily precise leveling measurements to be carried out until all ground movements had stabilized. In addition, a system of pipe-support hangers was prepared on site to compensate for any excessive settlements that might have occurred as a result of tunnel excavation.

před účinky ražby byla v předstihu obnažena jeho chránička, na které pak probíhalo nivelační měření každý den až do ustálení deformací. Pro kompenzaci případných nadměrných poklesů způsobených ražbou byl na stavbě připraven systém závěsů na potrubí.

SEKUNDÁRNÍ OSTĚNÍ

Sekundární ostění je navrženo jako vyztužené monolitické, se spodní klenbou oddělenou pracovní spárou od horní klenby betonované do posuvného bednění. Maximální délka bloku betonáže byla v souladu s předpisy [3, 4] prodloužena z 8 m na 10 m oproti předchozímu stupni dokumentace. Důvodem změny návrhu byla snaha o minimalizaci počtu pracovních spár mezi bloky, a tím snížení rizika průsaků.

Tloušťka ostění horní klenby je 300 mm ve vrcholu klenby a směrem do boků se rozšiřuje. Vzhledem k požadované vodonepropustnosti sekundárního ostění, bez možnosti gravitačního odvedení podzemní vody drenážemi, je navržen uzavřený tlakový systém, který vyžaduje profil tunelu se spodní klenbou. Vodonepropustnost ostění je zajištěna použitím betonu odolného proti průsakům s těsněním pracovních a dilatačních spár.

Pro zajištění vodotěsnosti spár mezi bloky betonáže byly oproti ZDS užity vnitřní těsnicí pásy (obr. 11) se systémem injektážních hadiček z důvodu lepšího probetonování. Tento systém umožňuje injektáž všech pracovních spár po betonáži.

Návrh sekundárního ostění z betonu odolného proti průsakům bez použití mezilehlé izolace obnáší celou řadu specifik. Jedná se zejména o přísnější kritéria na přípustnou šířku trhlin a maximální povolený průsak vody betonem. Tyto požadavky se promítají do návrhu betonové směsi, při kterém je sledováno omezení negativních účinků hydratačního tepla a smršťování. Dále je navržen vyšší stupeň vyztužení konstrukce s ohledem na omezení šířky trhlin, přičemž je důležité v návrhu dodržet dostatečnou světlost vzdálenost prutů výztuže pro umožnění kvalitního probetonování. Z hlediska odolnosti železobetonu proti průsakům je zásadní omezit šířku průběžných trhlin. Trhliny mohou vznikat například od rozdílného smršťování konstrukcí spodní a horní klenby, které jsou betonovány v různém čase. Z tohoto důvodu byla navržena zesílená podélná výztuž v oblasti boků horní klenby.

Dalším důležitým aspektem z hlediska omezení šířky trhlin je přísnější přípustná odchylka od teoretické tloušťky ostění, která je dle předpisu [3] definována hodnotou max. 100 mm. Z tohoto důvodu bylo před realizací sekundárního ostění provedeno v několika fázích laserové skenování líce primárního ostění a jeho profilace.

Mezi konstrukcemi primárního a sekundárního ostění je vložena separační fólie pro snížení tření (obr. 12). Aplikace této fólie významně omezuje tahová napětí v ostění od teplotních změn a smršťování betonu, což v konečném důsledku vede ke snížení rizika vzniku trhlin. Separační fólie dále zamezuje odvádění vody z betonu sekundárního ostění do zralého stříkaného betonu primárního ostění. Tato fólie je instalována po celém obvodu ostění s překrytím mezi dílčími pásy bez vzájemného svařování.

Výztuž sekundárního ostění byla navržena jako kombinace svařovaných sítí a příložek z prutové výztuže v nejvíce namáhaných průřezích. Výztuž je navržena

SECONDARY LINING

The secondary lining was designed as a reinforced cast-in-place concrete structure, with the invert separated from the upper arch by a construction joint. The upper arch was cast using a travelling formwork system. In accordance with the applicable regulations [3, 4], the maximum concreting block length was increased from 8m to 10m compared to the previous design stage. The reason for this modification was to minimize the number of construction joints between blocks and thereby reduce the risk of water leakage.

The thickness of the upper arch lining is 300mm at the crown, increasing gradually toward the sidewalls. Because the secondary lining was required to be watertight without the possibility of draining groundwater through a conventional drainage system, a closed pressure-resistant system was adopted, necessitating a tunnel profile with an invert. Watertightness is achieved through the use of water-resistant concrete combined with sealing of all construction and expansion joints.

To ensure the watertightness of joints between concrete blocks, the originally specified external waterstops were replaced by internal waterstops (Fig. 11) combined with a system of injection hoses to improve concrete placement and compaction around the sealing elements. This system allows all construction joints to be pressure-grouted after concreting if necessary.

The design of a water-resistant concrete lining without an intermediate waterproofing membrane involves a number of specific requirements. These include stricter criteria for the permissible crack width and for the maximum allowable water permeability of the concrete. Such requirements significantly influence the concrete mix design, in which particular attention is paid to limiting the adverse effects of hydration heat and shrinkage.

The structure was therefore designed with a higher reinforcement ratio to control crack widths. At the same time, adequate clear spacing between reinforcing bars had to be maintained to ensure proper concrete placement and compaction. From the perspective of watertight reinforced concrete design, limiting the width of through-cracks is of fundamental importance. Cracks may develop, for example, as a result of differential shrinkage between the invert and



Obr. 11 Výztuž dna sekundárního ostění a instalace vnitřních těsnicích pásů

Fig. 11 Reinforcement of the secondary lining invert and installation of internal waterstops



Obr. 12 Separáčnı́ fólie a montáž vřztuže hornı́ klenby z pojřzdné plořiny

Fig. 12 Separation membrane and assembling of the vault reinforcement from a mobile platform

jako samonosná s přihradovými rámy, k jejichž stykování jsou použité lanové spojky.

Vzhledem k tomu, že betonáže probřhaly v zimním období, byly v rámci realizace zajiřtěny podmínky, aby nedocházelo k prudkému ochlazování betonu. Jednalo se o opatření při dopravě betonové směsi, jejího uložení do bednicího vozu a zajiřtění požadované teploty při betonážı́ v tunelu. Portály kolektoru v řachtách byly uzavřeny, aby bylo omezeno proudění chladného vzduchu a v tunelu probřhalo vyhřívání. Po odbednění bylo prováděno ořetřování betonu rovnoměrným zvlhčováním a použitím ochranného nářtřiku. Po dobu ořetřování byla sledována teplota betonu a okolního prostředí s cílem omezení teplotního rozdřlu mezi povrchem a jádrem konstrukce.

Montáž vřztuže a betonáž do posuvného bednění komplikovaly řtřsněné prostorové podmínky (obr. 13). Další komplikaci při

continuously around the entire lining perimeter, with overlapping sheets but without welding of the joints.

The reinforcement of the secondary lining was designed as a combination of welded wire mesh and additional bar reinforcement in the most heavily loaded sections. The reinforcement cage was designed as a self-supporting system incorporating lattice girders, with cable couplers used for splicing reinforcement elements.

As concreting was carried out during the winter period, special measures were implemented to prevent rapid cooling of the concrete. These measures included temperature control during transportation of the concrete mix, placement into the travelling formwork, and maintenance of the required concrete temperature during casting operations within the tunnel.

The utility tunnel portals at the shafts were closed to limit the inflow of cold air, and heating was provided within the tunnel. After formwork removal, the concrete was cured by uniform moistening and the application of curing compounds. During the curing period, both concrete and ambient temperatures were monitored to minimize temperature differentials between the surface and the core of the structure.

The installation of reinforcement and concreting using travelling formwork were complicated by the restricted space conditions within the tunnel (Fig. 13). Additional challenges arose from the need to construct non-standard concreting blocks at the two horizontal alignment directional breaks of the utility tunnel (sections L9 and L10).

A particularly interesting feature of the construction process was the method used for delivering concrete into the tunnel. Concrete was supplied through large-diameter boreholes drilled through the shallow tunnel overburden. These boreholes had been prepared in advance using a drilling rig during the installation of the soldier pile wall system for shaft TK7.



Obr. 13 Bednicı́ vřz sekundárního ořtění

Fig. 13 Travelling formwork for the secondary lining

realizaci představovaly atypické bloky betonáže ve dvou směrových lomech kolektoru (L9 a L10). Zajímavostí je také způsob dopravy betonové směsi do tunelu, která probíhala prostřednictvím velkoprotfilových vrtů skrz nízké nadloží tunelu. Tyto předem připravené vrtly byly provedeny vrtnou soupravou již v době provádění zápor pro šachtu TK7.

ČTYŘI DOPORUČENÍ OVĚŘENÁ PŘI PROVÁDĚNÍ RAŽEB

1. Profil prutů trojúhelníkových příhradových rámu: Průřezová plocha dvou prutů na základně by se měla rovnat průřezové ploše jednoho prutu ve vrcholu vzhledem k průběhu ohybových momentů kolem střednice ostění. U běžných rámu to je např. $2 \times 14 + 20$, $2 \times 18 + 25$, $2 \times 20 + 28$ nebo $2 \times 22 + 32$ (optimalizováno pro tloušťky stříkaného betonu 150, 200, 250 a 300 mm). V případě projektu „Kolektor hangár G“ jsou příhradové rámy tvořeny dvěma pruty $\varnothing 28$ mm v základně a dvěma vzájemně svařenými pruty $\varnothing 28$ mm ve vrcholu. Tím bylo dosaženo stejné plochy výztuže u obou povrchů ostění a zároveň dodržen trojúhelníkový tvar rámu, který je výhodnější pro vrtání jehel skrz rámy než např. obdélník s pruty v rozích.
2. Orientace rámu: Častý předmět diskuze bývá, zda je výhodnější umístit vrchol trojúhelníkového rámu do hory nebo k lici ostění. Dle zkušeností horníků-tunelářů, kteří na této stavbě prováděli ražby, je výhodnější umístit základnu trojúhelníkového rámu vždy k výrubu, protože po zastříkání první vrstvou stříkaného betonu je rám stabilní a při vrtání jehel už se nemůže hýbat. Graficky bylo ověřeno, že obě polohy orientace rámu nemají vliv na úhel vrtání jehel.
3. Výztužné sítě KARI se pokládají vždy nosnými pruty, tj. v příčném směru, v první vrstvě k výrubu a naopak ve druhé vrstvě k lici primárního ostění pro dosažení optimální statické výšky. To je třeba důsledně dodržovat a kontrolovat!
4. Svorníky HUS, SN nebo IBO? HUS jsou do zemin naprosto nevhodné, jsou výhodné jen pro rychlou a snadnou instalaci a okamžitou aktivaci, působí pouze v tahu. SN jsou pracné, ale vhodné, pokud nehrozí zavalení vrtu. Svorníky IBO jsou do poloskalních hornin nebo zemin ideální, $\varnothing 25$ mm svou únosností sice zajišťuje spolehlivě výrub ve vertikálním i horizontálním směru, ale je příliš měkký, takže při vrtání „plave“, těžko se drží směr. Doporučení: v obtížných geotechnických podmínkách používat IBO $\varnothing 32$ mm!

ZÁVĚR

V průběhu zpracování realizační dokumentace raženého kolektoru pro Letiště Václava Havla Praha došlo v porovnání s předchozím stupněm dokumentace k celé řadě optimalizací technického řešení, které měly příznivý dopad na provádění primárního i sekundárního ostění. Tyto změny umožnily významné úspory investičních nákladů i usnadnění provádění, které bylo důležité pro naplnění harmonogram celé stavby.

Výstavba kolektoru probíhá bez větších problémů a komplikací. Ražba tunelu a betonáž sekundárního ostění je úspěšně dokončena, momentálně probíhá montáž kabelových lávek a vnitřního vybavení kolektoru – obr. 14 (05/2026).

Mimořádně náročné poměry pro provádění představovala zejména ražba kaloty v prostředí zemin s minimálním nadložím 4 m. Technickou výzvou byla ražba pod významnou a vysoce frekventovanou komunikací „K Letišti“. Tato hlavní silnice je důležitá především pro hromadnou dopravu mezi stanicí Nádraží Veleslavín a Letištěm Václava Havla Praha, kterou v relativně krátkých intervalech zajišťují těžké elektrické trolejbusy s baterií. Dalším zvláště rizikovým úsekem byla ražba pod provozovanými plynovody, které zásobují letiště a nacházejí se necelé 3 m nad vrcholem výrubu.

FOUR RECOMMENDATIONS VERIFIED DURING EXCAVATION

1. Profile of triangular lattice girder bars: The cross-sectional area of the two bars at the base of a triangular lattice girder should be equal to the cross-sectional area of the single bar at the apex, reflecting the distribution of bending moments about the lining centreline. For standard girders, this corresponds, for example, to configurations of $2 \times 14 + 20$, $2 \times 18 + 25$, $2 \times 20 + 28$, or $2 \times 22 + 32$ (optimized for shotcrete thicknesses of 150, 200, 250, and 300mm, respectively). In the Hangar G Utility Tunnel project, the lattice girders consisted of two $\varnothing 28$ mm bars at the base and two mutually welded $\varnothing 28$ mm bars at the apex. This arrangement provided the same reinforcement area at both lining surfaces while maintaining the triangular girder geometry, which is more suitable for drilling spiles through the girders than, for example, a rectangular frame with bars located at the corners.
2. Girder orientation: A frequent subject of discussion is whether it is preferable to orient the apex of a triangular girder towards the ground or towards the intrados of the lining. According to the experience of the miners and tunnelling crews involved in excavation on this project, it is more advantageous to position the base of the triangular girder towards the excavation perimeter. Once covered by the first layer of shotcrete, the girder becomes stable and can no longer move during spiles drilling. Graphical verification confirmed that neither girder orientation has any influence on the achievable spiles drilling angle.
3. KARI welded wire mesh should always be installed with the main load-bearing bars oriented transversely to the tunnel axis. To achieve the optimum structural depth, the main bars should face the excavation in the first reinforcement layer and, conversely, the intrados of the primary lining in the second reinforcement layer. This requirement should be strictly observed and carefully checked during construction.
4. Hydraulic rockbolts (HUS), Store-Norfors rockbolts (SN) or self-drilling rockbolts (IBO)? HUS bolts are completely unsuitable for soils. Their only advantages are rapid and simple installation and immediate activation; however, they work solely in tension. SN bolts are labour-intensive to install but are suitable in cases where there is no risk of borehole collapse. IBO bolts are ideal for weak rock and soil conditions. Although $\varnothing 25$ mm IBO bolts have sufficient capacity to reliably support the excavation in both the vertical and horizontal directions, but too flexible. As a result, they tend to “deviate” during drilling, making directional control difficult. Recommendation: Under difficult geotechnical conditions, $\varnothing 32$ mm IBO bolts should be used.

CONCLUSION

During the preparation of the detailed design documentation for the mined utility tunnel at Václav Havel Airport Prague, numerous optimizations of the technical solution were implemented compared to the previous design stage. These modifications had a positive impact on the construction of both the primary and secondary linings. They resulted in significant savings in investment costs and facilitated construction activities, which was particularly important for maintaining the demanding schedule of the overall project.

The construction of the utility tunnel has proceeded without any major problems or complications. Tunnel excavation and construction of the secondary lining have been successfully



Obr. 14 Instalované kabelové lávky v dokončeném kolektoru
Fig. 14 Installed cable trays in the completed utility tunnel

foto Ing. Radek Bernard, Ph.D. photo Ing. Radek Bernard, Ph.D.

V rámci provádění tunelu probíhalo pravidelné vyhodnocování výsledků geotechnického monitoringu. Na základě skutečného chování horninového masivu během ražby bylo i v těchto komplikovaných podmínkách provedeno odlehčení zajištění stability výrubu v souladu s principy observační metody, což mělo za následek další úspory.

Sekundární ostění je navrženo bez mezilehlé hydroizolace, což je v případě tuzemských ražených tunelů neobvyklé. Výhoda tohoto systému spočívá ve snadné identifikaci míst případných průsaků a možnosti jejich sanace. Naopak v případě použití mezilehlé hydroizolace nemusí místo jejího poškození odpovídat viditelným průsakům uvnitř tunelu, z tohoto důvodu je sanace těchto poruch poměrně obtížná.

Veškeré uvedené optimalizace a změny návrhu bylo možné projednat a zrealizovat pouze díky vstřícnému přístupu všech kompetentních účastníků výstavby. Za vynikající práce v podzemí a úspěšný průběh vlastní ražby v mimořádně náročných podmínkách patří uznání především zkušeným tunelářům ze společnosti POHL cz, a.s. Poděkování dále patří zástupcům investora stavby (Letiště Praha, a.s.), technického dozoru podzemních prací (SG Geotechnika, a.s.), zhotovitele (Metrostav CZ, s.r.o., POHL cz, a.s.) i hlavního projektanta (Ingutis, spol. s.r.o.).

Ing. MARTIN BALÁŽ, martin.balaz@sagasta.cz,

Ing. VLADIMÍR PRAJZLER, vladimir.prajzler@sagasta.cz,
 Sagasta s.r.o.

Recenzoval / Reviewed: Ing. Filip Jiříčný

completed. Installation of cable trays and the internal equipment of the utility tunnel is currently underway (Fig. 14, 05/2026).

The most demanding construction conditions were encountered during excavation of the top heading in soil with a minimum overburden of only 4m. A particular technical challenge was tunnelling beneath the major and heavily trafficked K Letišti Street. This roadway is especially important for public transport between Nádraží Veleslavín Station and Václav Havel Airport Prague, served at short intervals by heavy battery-powered electric trolleybuses. Another particularly critical section was the excavation beneath operational gas pipelines supplying the airport, located less than 3m above the crown of the excavation.

Throughout tunnel construction, the results of the geotechnical monitoring programme were regularly evaluated.

Based on the actual behaviour of the ground mass during excavation, it was possible, even under these challenging conditions, to reduce excavation support measures in accordance with the principles of the observation method, resulting in additional cost savings.

The secondary lining was designed without an intermediate waterproofing membrane, which is unusual for mined tunnels in the Czech Republic. The main advantage of this system is the ease of identifying and repairing any potential water leaks. In contrast, where an intermediate waterproofing membrane is used, the location of membrane damage does not necessarily correspond to the location of visible seepage inside the tunnel, making remediation of such defects relatively difficult.

All of the optimizations and design modifications described above could only be discussed and successfully implemented thanks to the constructive cooperation of all key project participants. Special recognition is due to the experienced tunnelling crews of POHL cz, a.s. for their outstanding underground work and the successful completion of the excavation under exceptionally demanding conditions. Appreciation is also extended to the representatives of the project owner (Prague Airport, a.s.), the underground works supervision consultant (SG Geotechnika, a.s.), the contractors (Metrostav CZ, s.r.o. and POHL cz, a.s.), and the lead designer (Ingutis, spol. s.r.o.).

Ing. MARTIN BALÁŽ, martin.balaz@sagasta.cz,

Ing. VLADIMÍR PRAJZLER, vladimir.prajzler@sagasta.cz,
 Sagasta s.r.o.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] INGUTIS SPOL. S.R.O. *Zadávací dokumentace: Letiště Praha, Stavby pro energetickou infrastrukturu: Stavba 1 – Hangár G – kolektor*. Praha, 2021.
- [2] SAGASTA S.R.O. *Realizační dokumentace: Letiště Praha, Stavby pro energetickou infrastrukturu: Stavba 1 – Hangár G – kolektor*. Praha, 2025.
- [3] MINISTERSTVO DOPRAVY. *Technické podmínky TP 265 – Vodonepropustné tunelové ostění*. Praha, 2023.
- [4] ÖSTERREICHISCHE BAUTECHNIK VEREINIGUNG (ÖBV). *Richtlinie Innenschalenbeton*. Wien, 2012.

SILNIČNÍ TUNEL PĚTIDOMÍ V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH, GEOTECHNICKÁ, LOGISTICKÁ A DALŠÍ ÚSKALÍ TECHNICKÉHO NÁVRHU MĚSTSKÉHO TUNELU PĚTIDOMÍ ROAD TUNNEL IN ČESKÉ BUDĚJOVICE, GEOTECHNICAL, LOGISTICAL, AND OTHER PITFALLS OF THE TECHNICAL DESIGN FOR AN URBAN TUNNEL

LIBOR MAŘÍK

ABSTRAKT

Článek popisuje návrh technického řešení atypického městského dvoutubusového silničního tunelu se dvěma podzemními okružními křižovatkami v oblasti portálů, který je, vzhledem k požadavkům na obslužnost území, geotechnické podmínky, etapizaci výstavby spojenou s výlukami provozu na seřadovacím nádraží i vazbami na stávající městskou zástavbu, ve všech směrech mimořádně náročným projektem. Stavební jáma pro výstavbu tunelu v prostředí zvodnělých sedimentů křížuje jedno z největších seřadovacích nádraží v České republice, dále koleje navazující na osobní nádraží mezinárodního významu a v místě podzemních křižovatek zasahuje do těsné blízkosti městské zástavby. To vyžaduje zvládnout složitou etapizaci výstavby v souladu s požadavky drážních přepraveců i minimalizaci negativních vlivů výstavby na funkci města. Konstrukce tunelu, který je zároveň železničním mostem, je navržena z betonu odolného proti průsakům. Významnou roli při návrhu tunelu hraje i vztlak podzemní vody. Technologické vybavení tunelu, a s ním související stavební úpravy, musí umožnit případné prodloužení tunelu do ulice Nádražní s cílem dopravního zklidnění prostoru před nádražní budovou. Zahájení výstavby se očekává v roce 2027.

ABSTRACT

The article describes the technical solution of an atypical urban twin-tube road tunnel with two underground roundabouts near the portals. Considering the requirements for serviceability of the area, geotechnical conditions, construction phasing tied to traffic closures of the switchyard, and ties to the current urban development, the tunnel is an exceptionally challenging project in all respects. The construction pit for tunnel excavation in an area of water-bearing sediments crosses one of the largest switchyards in the Czech Republic, then tracks that connect to a passenger railway station of international importance, and it runs in close proximity to an urban development near the underground intersections. That requires mastering difficult construction phasing in concord with the requirements of railway carriers and minimisation of the negative impacts of the construction on the functionality of the city. The structure of the tunnel, which is also a railway bridge, is designed with concrete resistant to seepage. Groundwater buoyancy also plays an important role during tunnel design. The technological equipment of the tunnel and related construction adjustments must enable a prospective elongation of the tunnel to Nádražní Street with the aim of calming traffic in the space in front of the railway station building. Construction commencement is expected in 2027.

1. ÚVOD

Železnice rozděluje České Budějovice v severo-j jižním směru a vytváří v městské zástavbě bariéru, která komplikuje propojení východní a západní části města. Snad právě proto vznikla v roce 2001 myšlenka propojit silničním tunelem pod nádražím čtvrti Pětídomí a Suché Vrbné s centrem města. Tehdy se ještě jednalo o přímý podjezd v pokračování ulice Průmyslová, na straně centra města zaústěný do ulice Dobrovodská v jeho východní části. Od té doby došlo ve vývoji technického řešení k celé řadě úprav a změn [1]. K významnému urychlení celého procesu došlo v roce 2021, kdy Jihočeský kraj inicioval vznik studie proveditelnosti s cílem nalezení optimální varianty trasy tunelu jak z hlediska dopravně-urbanistického, tak z hlediska technologického postupu výstavby.

Stanice České Budějovice je hlavním osobním nádražím v regionu a pro nákladní dopravu slouží seřadovací nádraží jako důležitá vlaková stanice. Výsledkem studie proveditelnosti dokončené v září 2022 byla varianta, kterou projekční kancelář SAGASTA s.r.o. následně rozpracovala do podrobnosti dokumentace pro vydání společného povolení (DUSP), v rámci které tunel získal místní název Pětídomí. Tunel je součástí projektu Přeložka silnice

1. INTRODUCTION

The railway divides České Budějovice in the north-south direction and creates a barrier within the developed area, which complicates the connection of the eastern and western parts of the city. Maybe for this reason, an idea was born in 2001 to connect the Pětídomí and Suché Vrbné city districts to the city centre with a road tunnel underneath the railway station. Back then, it was still a direct underpass as a continuation of Průmyslová Street, on the city centre side, leading in its eastern part into Dobrovodská Street. Since then, a whole array of modifications and changes have occurred in the development of the technical solution [1]. An important acceleration of the entire process occurred in 2021 when the South Bohemian Region initiated the formation of a feasibility study with the goal to find an optimal variant for the tunnel route not only regarding transportation-city planning needs but also from the view of technological construction course of action.

The České Budějovice station is the main passenger railway station in the region, and the switchyard serves as an important train forming station for freight transport. The result of the feasibility study, which was finished in September 2022, was a variant that

II/156 a II/157, 3. etapa, Podjezd pod železničním nádražím, České Budějovice. O rozsahu projektu vypovídá počet téměř 90 stavebních objektů, přičemž objekt tunelu je dále členěn na 30 stavebních podobjektů a 17 provozních souborů. Kromě návrhu konstrukce tunelu ve složitých geotechnických podmínkách, jehož součástí jsou i dvě podzemní křižovatky a rampy vedoucí z těchto křižovatek na povrch území, bylo nutné vyřešit i etapizaci výstavby, a to zejména s ohledem na minimalizaci výluk osobního i seřadovacího nádraží, napojení na stávající a nově upravené místní komunikace i vytvoření podmínek pro zajištění bezpečnosti provozu.

2. GEOTECHNICKÉ PODMÍNKY

Geotechnické a hydrogeologické podmínky pro výstavbu hloubeného tunelu v dané lokalitě hrají při návrhu technického řešení i harmonogramu výstavby zásadní roli. Podkladem pro návrh technického řešení je podrobný geotechnický průzkum v dané lokalitě [2]. Z regionálně-geologického hlediska zasahuje území do Zlivské pánve a části Českobudějovické pánve. Českobudějovická pánev je tvořena křídovými horninami klikovského souvrství s mocnými vrstvami křídových jílovců, prachovců a pískovců, ojediněle i slepenců. Jejich výskyt je v okolí zájmového území západním směrem vázán na tzv. rudolfovský zlom. Svrchnokřídové uloženiny v celé oblasti jihočeských pánví vznikly v říčním, říčně-jezerním až jezerním prostředí s cyklickým usazováním, kde se materiál v každém cyklu postupně zjemňuje od hrubých pískovců u dna souvrství až po jemné jíly u tehdejší hladiny sedimentační pánve. V nadloží křídových sedimentů jsou terciární neogenní sedimenty.



Foto TESIA Photo TESIA

Obr. 1 Kvartérní sedimenty ve vrtu J103

Fig. 1 Quaternary sediments in borehole J103



Foto TESIA Photo TESIA

Obr. 2 Přechod do neogenních sedimentů ve vrtu J103

Fig. 2 Transition into Neogene sediments in borehole J103

the SAGASTA s.r.o. design office then evolved into detailed documentation for the release of a combined permit (DUSP), within which the tunnel then received the local name Pětidomí. The tunnel is a part of the project “Přeložka silnice II/156 a II/157, 3. Etapa, Podjezd pod železničním nádražím, České Budějovice”. Nearly 90 building structures attest to the extent of the project, while the tunnel structure is then divided into 30 building substructures and 17 operating procedure sets. Besides the design of the tunnel structure in complicated geotechnical conditions, which also includes two underground intersections and ramps leading from these intersections onto the surface, it was also necessary to solve construction phasing mainly to minimise traffic closures of the passenger railway station and switchyard, the link to the current and newly modified local roads, and the creation of conditions for securing safe operations.

2. GEOTECHNICAL CONDITIONS

Geotechnical and hydrogeological conditions for the construction of a cut-and-cover tunnel in the given location play a key role in the design of the technical solution and construction schedule. The basis for the design of the technical solution is an in-depth geotechnical survey in the given area [2]. From a regional geology standpoint, the region extends into the Zlivsko basin and a part of the České Budějovice basin. The České Budějovice basin is formed by Cretaceous rock of the Klikov formation with huge layers of Cretaceous claystones, siltstones, and sandstones, rarely even conglomerates. Their occurrence around the area of interest in the western direction is tied to the so-called Rudolf fault. The Upper Cretaceous deposits in the entire area of the South Bohemian basins came into existence in an alluvial, alluvial-lacustrine to lacustrine environment with cyclic settling, where in each cycle, the material gets gradually finer from coarse sandstones at the bottom of the formation to fine clays at the then surface of the sedimentation basin. In the overburden of the Cretaceous sediments, Tertiary Neogene sediments are located.

The characteristics of Quaternary and Neogene sediments are key to the construction of a cut-and-cover tunnel in a construction pit roughly 15m below the terrain. The rock is located near the foundation joint of the tunnel, and the sheet piles are rigidly fixed into it, securing the stability and water tightness of the pit floor. Quaternary sediments are represented mainly by fluvial and diluvial-fluvial types. Occurring less frequently in the area of interest are aeolian to aeolian-diluvial sediments, locally even diluvial sediments. Nival fluvial sediments with loamy-sandy characteristics are located at the current surface of the terrain and usually reach a thickness of 2 to 3m. Terrace fluvial sediments are distinctive by their sandy-gravelly to gravelly-sandy contents with thicknesses from the first few meters to over ten meters.

In most of the 15 core bores, underneath a layer of anthropogenic backfill, Quaternary soils are represented that have the characteristics of sands and gravels with a subtly varying content of a finely grained component. The layer of sands with a finely grained ingredient and loamy sands reaches a thickness of 2 to 6m. A layer of gravel with a finely grained ingredient is found beneath this layer. Geological conditions of the layer of Quaternary sediments near the “West” underground intersection are depicted well on a photo of a core from the J103 core borehole in Fig. 1.

Deeper probes with a depth of 15 to 20m encountered practically impermeable Neogene clays with permeability around 10^{-7} m/s and lower at a depth of 9 to 11m beneath the terrain, the thickness of which is estimated to be about the first few dozen meters. These

Pro výstavbu hloubeného tunelu ve stavební jámě cca 15 m pod povrchem území jsou rozhodující vlastnosti kvarterních a neogenních sedimentů, které se nacházejí v blízkosti základové spáry tunelu a do kterých jsou vetknuté štetovnice zajišťující stabilitu a vodotěsnost dna jámy. Kvartérní sedimenty jsou zastoupeny zejména fluvialními a deluviofluvialními typy, méně často se pak v zájmovém území vyskytují eolické až eolickodeluvialní sedimenty, lokálně až deluvialní sedimenty. U stávajícího povrchu terénu se vyskytují nivní fluvialní sedimenty hlinitopísčitého charakteru dosahující mocností zpravidla 2 až 3 m. Terasové fluvialní sedimenty jsou charakteristické svým písčito-šterkovitým až šterkovito-písčitým složením s mocností od prvních jednotek metrů až přes deset metrů.

Ve většině z 15 jádrových vrtů byly pod vrstvou antropogenních navážek nejčastěji zastoupené kvarterní zeminy charakteru písků a šterků s lehce proměnlivým obsahem jemnozrnného podílu. Vrstva písků s jemnozrnnou příměsí a hlinitých písků dosahuje mocností 2 až 6 m. Pod touto vrstvou se nachází vrstva šterků s jemnozrnnou příměsí. Geologické poměry vrstvy kvarterních sedimentů v oblasti podzemní křižovatky „Západ“ dobře ilustruje fotografie vrtného jádra z jádrového vrtu J103 na obr. 1.

Hlubší sondy o hloubce 15 až 20 m zastihly v hloubce 9 až 11 m pod úrovní povrchu území prakticky nepropustné neogenní jíly s propustností v řádu 10^{-7} m/s a nižší, jejichž mocnost se odhaduje na první desítky metrů. Jedná se o jíly pevné konzistence, na kontaktu s nadložními šterky konzistence tuhé až pevné, s vysokou až velmi vysokou plasticitou. Tyto polohy nepropustných jílů, do kterých spodní deska tunelu zasahuje pouze částečně, tvoří při dostatečné hloubce vetknutí štetovnic vhodné prostředí pro zajištění vodotěsnosti dna stavební jámy. Přejechod mezi kvarterními a neogenními sedimenty ukazuje fotografie vrtného jádra ze stejného jádrového vrtu J103 na obr. 2.

Z hydrologického hlediska patří zájmové území k pravobřežnímu povodí řeky Vltavy a je součástí hydrogeologického rajónu Budějovická pánev. Volná až mírně napjatá hladina podzemní vody je vázána na průlinově propustné písky a písčité šterky s koeficientem propustnosti $k = 3,41 \times 10^{-4}$ m/s. Její ustálená hladina se pohybuje v hloubce mezi 1,2 m až 3,7 m pod terénem. Toto zvodnění je v hydraulické spojitosti s vodními toky řeky Vltavy a Malše. Vztlková síla podzemní vody proto vzhledem k velkému objemu podzemní konstrukce tvoří nezanedbatelný zatěžovací stav, který je při návrhu technického řešení nutno zohlednit.

3. POPIS KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

Tunel Pětidomí je dvoutroubový, směrově rozdělený silniční tunel délky 397 m, prováděný ve stavební jámě. V projektované variantě [3] má tunel tři portály s místním označením podle ulic, do kterých rampami vyúsťuje. Délka tunelu je tak stanovena jako nejdelší vzdálenost mezi portály měřená v severní tunelové troubě od portálu U Lávky k portálu Mánesova. Další vzdálenosti mezi portály jsou kratší, přičemž nejkratší je vzdálenost 297 m měřená v jižní tunelové troubě mezi portály Mánesova a U Lávky. Výška průřezného průřezu je 4,2 m a je navržena s ohledem na snahu o umístění nivelety vozovky co nejnižší pod povrchem terénu. Důvodem je snížení objemu zemních prací a snížení vztlaku podzemní vody. Dalším důvodem je zkrácení vjezdových a výjezdových ramp, které na povrchu území navazují na místní komunikace. Tunel šířkové kategorie je T-7,5 je v oblasti pod kolejistěm směrově rozdělený. Součástí tunelu jsou dvě podzemní křižovatky „Západ“ a „Východ“ s celkem třemi nájezdovými a výjezdovými rampami

are clays with solid consistency, and where they contact the overburden gravel firm to solid, with high to very high plasticity. These attitudes of impermeable clays, into which the lower tunnel slab intrudes only partially, form a suitable environment for securing watertightness of the construction pit floor when coupled with a sufficient depth of interlocking pile embedment. A transition between Quaternary and Neogene sediments is shown in a photo of a core bore from the same J103 core borehole in Fig. 2.

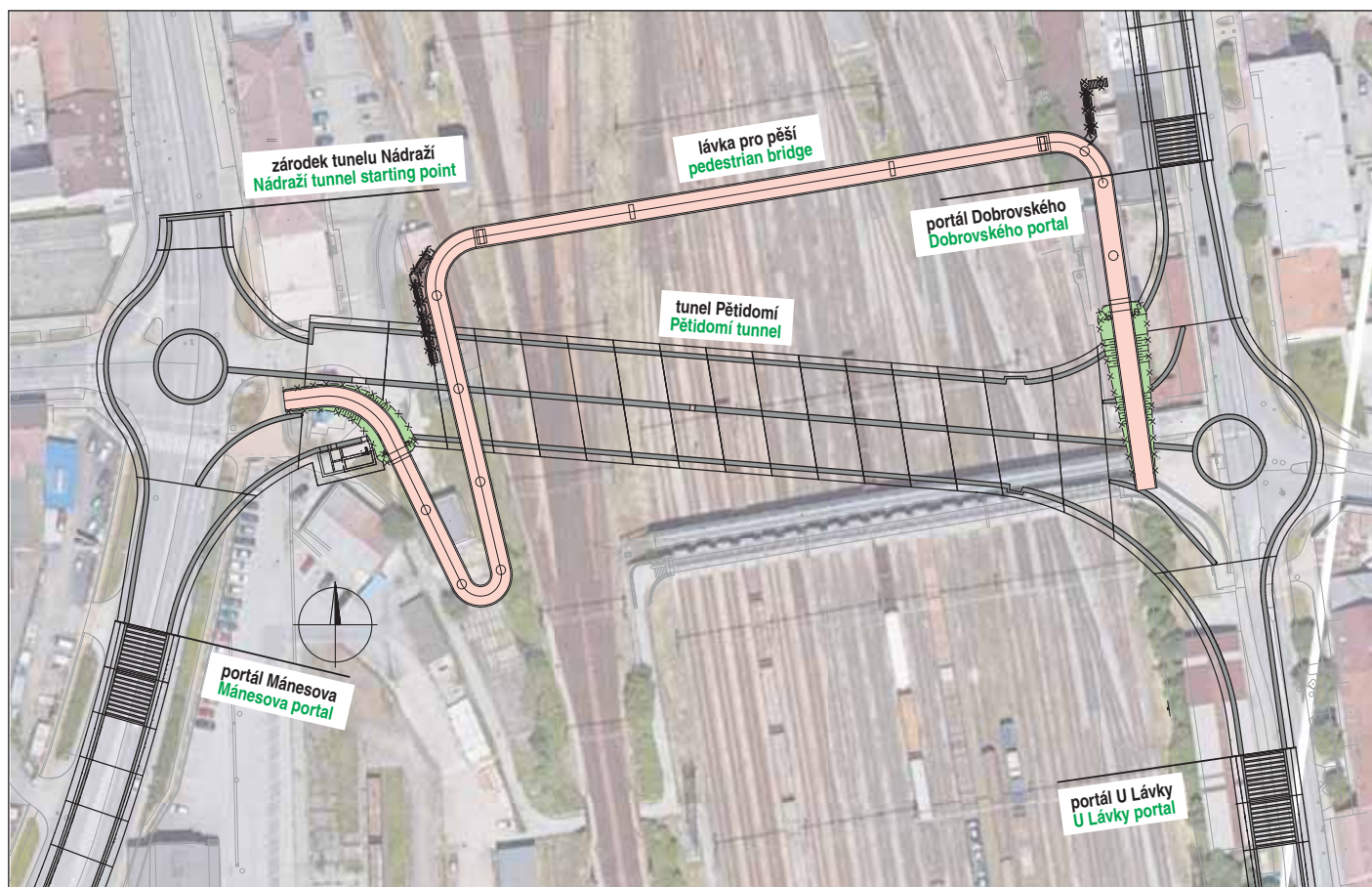
From a hydrological standpoint, the area of interest belongs to the right bank of the Vltava River drainage basin and is a part of the hydrogeological district Budějovice basin. Free to slightly confined groundwater surface is tied to interstitially permeable sands and sandy gravels with a coefficient of permeability $k = 3,41 \times 10^{-4}$ m/s. Its stabilised surface fluctuates at a depth of 1.2m to 3.7m below terrain. This aquifer is in hydraulic continuity with the water streams of the Vltava and Malše rivers. Buoyancy forces of groundwater therefore form a non-negligible loading state due to the large volume of the underground structure, and it is necessary to take that into consideration while designing the technical solution.

3. STRUCTURAL SOLUTION DESCRIPTION

The Pětidomí tunnel is a twin-tube, directionally separated road tunnel 397m in length, implemented inside a construction pit. The tunnel has three portals in the designed variant [3], named after local names of streets, into which they lead by way of ramps. The length of the tunnel is determined by the longest distance between portals measured in the northern tunnel tube from the U Lávky portal towards the Mánesova portal. Other distances between portals are shorter, whilst the shortest distance is 297m measured in the southern tunnel tube between the Mánesova and U Lávky portals. The height of the kinematic envelope is 4.2m and is designed with regard to an attempt to place the roadway alignment as shallow as possible. The reason is the decrease in the volume of earthwork and the decreasing groundwater buoyancy. Another reason is the shortening of entrance and exit ramps that connect to local roads on the surface of the area. The tunnel with a T-7,5 width geometry category is directionally separated in the area below the tracks. The tunnel also includes two underground intersections, “West” and “East”, with a total of three entrance and exit ramps onto the surface. Exit from the tunnel in the east is secured by two ramps onto the streets Dobrovodská and U Lávky. In the west, one ramp leads to Mánesova Street. To secure transportation services in the area and a link to current roads, the ramps reach an angle of up to 8%. Longitudinally, the tunnel alignment descends from the “East” underground intersection towards the west, first at a slope of 4.0% and subsequently 0.7% up to chainage km 0.065 181, where there is a point of vertical intersection. From this point onward, the route ascends at a slope of 2.5% towards the “West” underground intersection. Placement of the tunnel inside the urban area is shown in Fig. 3.

“U” shaped reinforced concrete ramps have a varying height of lateral walls. The location of the portal is defined by the start of the ramp ceilings. The tunnel goes underneath the rails of a switchyard and a section of the gridiron of the České Budějovice passenger railway station. From the viewpoint of norm ČSN 73 7507, the 500m long tunnel is designated as short, which defines safety requirements for its construction and technological equipment.

All structures are carried out in an open construction pit secured by watertight interlocking pile walls anchored at multiple levels using prestressed cable anchors. The interlocking piles go through



Obr. 3 Umístění tunelu v intravilánu města

Fig. 3 Tunnel placement in the urban development

na povrch území. Vyústění tunelu na východě zajišťují dvě rampy do ulic Dobrovodská a U Lávky. Na západě vyústuje jedna rampa do ulice Mánesova. Pro zajištění obslužnosti území a napojení na stávající komunikace dosahují sklon ramp až 8 %. V podélném směru klesá niveleta tunelu od podzemní křižovatky „Východ“ směrem k západu nejprve ve sklonu 4,0 % a následně 0,7 % až do staničení km 0,065 181, kde se nachází výškový lom. Z tohoto bodu pak trasa stoupá ve sklonu 2,5 % k podzemní křižovatce „Západ“. Umístění tunelu v intravilánu města ukazuje obr. 3.

Železobetonové rampy tvaru „U“ mají proměnnou výšku bočních stěn. Polohu portálů určuje začátek zastropení ramp. Tunel podchází koleje seřadovacího nádraží a část zhlaví osobního nádraží České Budějovice. Ve smyslu normy ČSN 73 7507 je tunel délky 500 m označován jako krátký, což určuje bezpečnostní požadavky na jeho stavební a technologické vybavení.

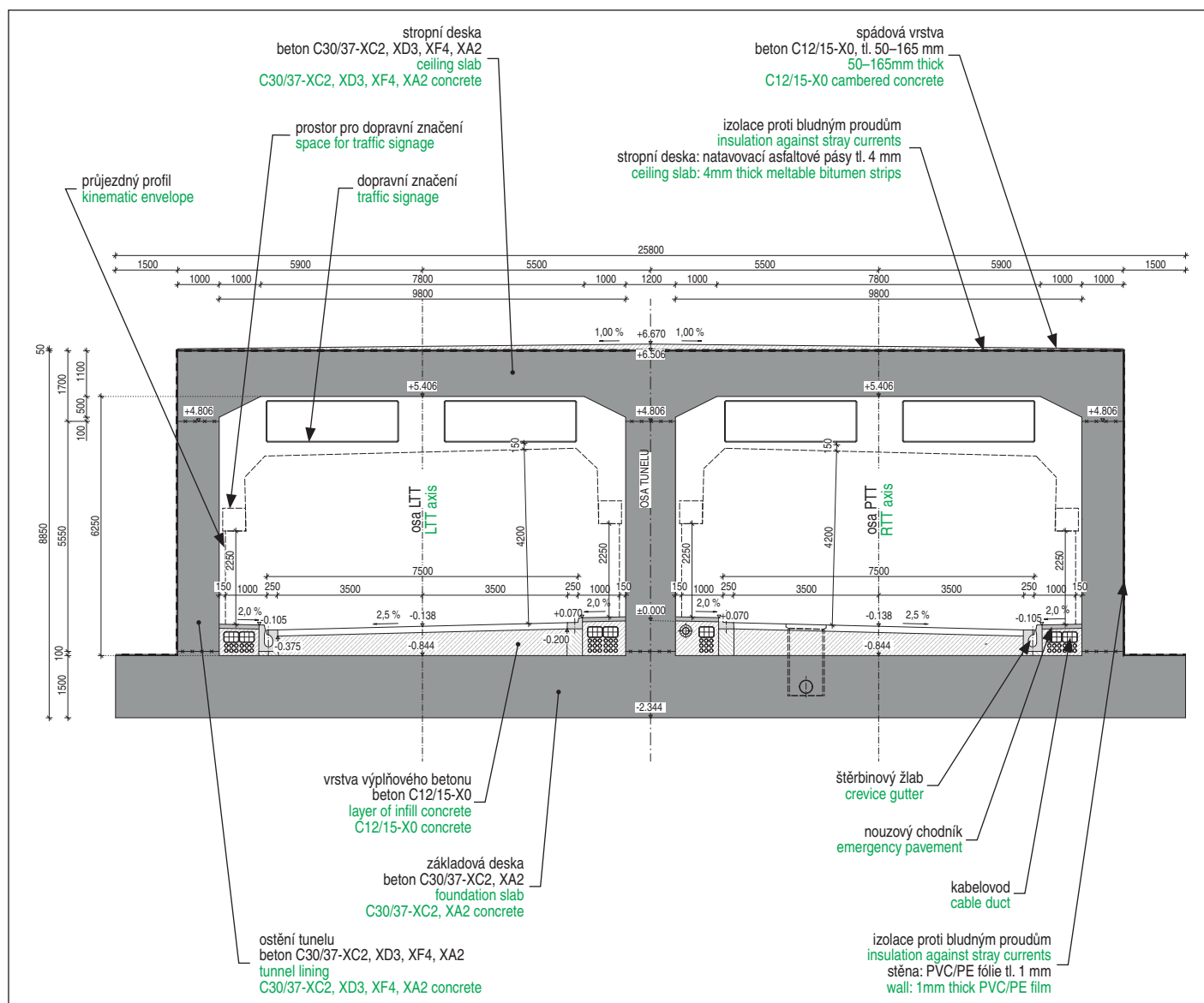
Všechny konstrukce jsou prováděné v otevřené stavební jámě zajištěné vodotěsnými štětovnicovými stěnami kotvenými v několika úrovních předpjatými lanovými kotvami. Štětovnice prochází zvodněnými kvarterními sedimenty a jsou v jejich podloží vetknuty do nepropustných neogenních jííl. Před hloubením stavební jámy je nutné z prostoru ohraničeného štětovnicemi vyčerpát podzemní vodu.

Tunelové ostění tvoří železobetonový uzavřený rám z betonu třídy C 30/37 XF4 XC3 XD3 XA2 se střední stěnou oddělující tunelové trouby. Základová deska je navržena v tloušťce 1 500 mm, obvodové stěny v tloušťce 1 000 mm, střední dělicí stěna má tloušťku 1 200 mm, stropní deska tloušťky 1 000 mm je lokálně zesílena žebry na tloušťku 1 500 mm. Základová deska přesahuje rub obvodových stěn o 1 500 mm. Takto vzniklá konzola slouží pro přitížení konstrukce zásypovým materiálem a přispívá ke zvýšení

Quaternary sediment aquifers and are rigidly fixed in their bedrock into impermeable Neogene clays. Before trenching of the construction pit, it is necessary to pump groundwater from the area outlined by interlocking piles.

The tunnel lining is formed by an enclosed reinforced concrete frame made of concrete classes C 30/37 XF4 XC3 XD3 XA2 with a centre wall dividing the tunnel tubes. The foundation slab is designed as 1,500mm thick, perimeter walls 1,000mm thick, and the centre dividing wall has a thickness of 1,200mm. The ceiling slab has a thickness of 1,000mm and is locally reinforced by ribs to a thickness of 1,500mm. The foundation slab goes beyond the reverse side of the perimeter walls by 1,500mm. This creates a cantilever that serves to weigh down the structure with backfill material and contributes to the increase in resistance of the tunnel against surfacing. Clearance width of the tunnel tubes is 9,800mm, and the clearance height is maximum 5,750mm. A typical cross-section of the tunnel is depicted in Fig. 4.

In the section of the tunnel beneath the railway station, the tunnel structure with a standard-shaped cross-section will be carried out in phases, formed by concreting blocks with a maximum length of 10m. Individual blocks will be mutually divided by oblique construction joints. The angle and location of construction and dilatation joints correlate with the location of rails in the tunnel overburden, since the tunnel forms an integrated bridge for the railway. For this reason, the effort of the designer with regard to the structural impact of the structure is to prevent the crossing of rails with construction or dilatation joints between concreting blocks of the tunnel lining. The structures of underground intersections and run-ups to the ramps have atypical sizes and dimensions and will



Obr. 4 Vzorový příčný řez tunelu pod kolejištěm

Fig. 4 Typical cross-section of the tunnel beneath the trackage

odporu tunelu proti vyplavání. Světla šířka tunelových trub je 9 800 mm, světla výška je max. 5 750 mm. Vzorový příčný řez tunelu znázorňuje obr. 4.

V úseku tunelu pod nádražím se standardním tvarem příčného profilu bude konstrukce tunelu prováděna po etapách tvořených betonážními bloky o maximální délce 10 m. Jednotlivé bloky budou vzájemně odděleny šikmými pracovními spárami. Šikmost a poloha pracovních a dilatačních spár koresponduje s polohou kolejí v nadloží tunelu, neboť pro železnici je tunel integrovaným železničním mostem. Proto je snahou projektanta s ohledem na statické působení konstrukce zamezit křížení kolejí s pracovní nebo dilatační spárou mezi bloky betonáže tunelového ostění. Konstrukce podzemních křižovatek a náběhů do ramp jsou atypických rozměrů i dimenzí a budou vyžadovat v případě vyztužování i betonáže použití speciálních postupů.

Tloušťka nosných konstrukcí neklesá pod jeden metr, výstavba tunelu bude probíhat v etapách, které minimalizují negativní dopad výstavby na provoz nádraží i městskou infrastrukturu. Celá řada složitých detailů, spojených s postupem výstavby, by byla v případě použití hydroizolační fólie zdrojem rizik a obtížně opravitelných vad tlakového hydroizolačního systému. Proto

require the use of special procedures in the case of reinforcing and concreting.

The thickness of load-bearing structures does not fall below one metre. The construction of the tunnel will take place in phases that will minimise the negative impact of the construction on the operation of the railway station and city infrastructure. A whole array of complicated details tied to construction procedures would be a source of risks and hardly repairable defects in the case of utilising waterproofing films of a pressurised waterproofing system. That is why the water tightness of the tunnel and ramps is secured by the concrete of the massive structures, resistant to water seepage, in combination with the sealing of joints between concreting blocks with waterstops. It is possible to renew their tightness if seepages occur using a safety system that secures the possibility to grout local seepage. The structure will be insulated against stray currents using an electrical insulating layer from bitumen melttable strips without requirements for water tightness.

The evaluation of groundwater buoyancy only counts in structures that will not be removed throughout the service life of the tunnel, as part of, for example, reconstructions or repairs. Hydrostatic pressure also affects the sides of the ramps, which

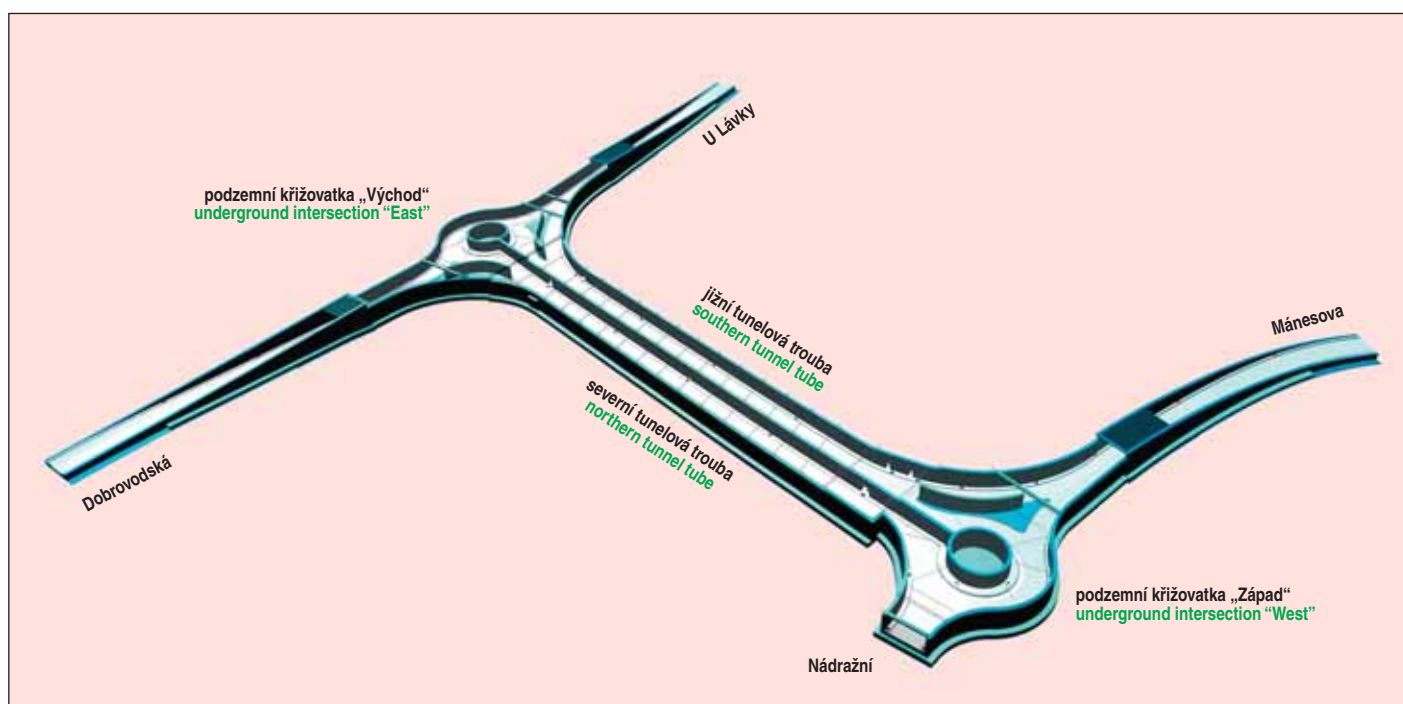


Obr. 5 Pohled na portál U Lávký a rampu do podzemní křižovatky
Fig. 5 A view of the U Lávký portal and ramp into the underground intersection

je vodonepropustnost tunelu i ramp zajištěna betonem masivních konstrukcí, odolným proti průsakům vody v kombinaci s těsněním spár mezi bloky betonáže vnitřními těsnicími pásy. Jejich těsnost je možné v případě průsaků obnovit pomocí pojistného systému zajišťujícího možnost zainjektování lokálních průsaků. Jako ochrana proti účinkům bludných proudů bude konstrukce zaizolována elektroizolační vrstvou z asfaltových natavovacích pásů, bez požadavků na vodotěsnost.

Do posouzení na vztlak podzemní vody jsou započteny konstrukce tunelu, které nebudou po dobu jeho životnosti, např. v rámci rekonstrukce nebo oprav, odstraněny. Hydrostatický tlak působí i na boky ramp, které staticky působí jako konzoly. Proto jsou v nejhlubším místě stěny ramp v horní části rozepřené trámy. Vedlejší funkcí tohoto statického opatření je zlepšení světelné pohody řidiče při výjezdu nebo vjezdu do tunelu. Začlenění tunelové

by way of slotted gutters fitted with self-extinguishing pieces restricting flame propagation. A tunnel cross passage is designed in the centre wall covered by a fire closure. The other two walk-through openings in the centre wall are before intersections “East” and “West” that also contain fire hydrants used for extinguishing fires in the northern and southern tunnel tubes. An emergency exit with a stairway shaft is designed in the southern tunnel tube around the area of the “West” underground intersection. A component of the emergency structure is a combined shaft allowing a connection of the operation-technological structure on the surface with technological equipment of the tunnel and the routing of cables and fire water piping from the fire reservoir. A collection sump is located beneath the emergency structure, gathering water drained from the roadway surface. The source of water is firstly rainwater flowing into the tunnel from the ramps, then technological water



Obr. 6 Model hlavních nosných konstrukcí tunelu a ramp
Fig. 6 A model of main load-bearing structures of the tunnel and ramps

rampy v oblasti křižovatky „Východ“ do ulice U Lávky, s rozepřímáním konstrukce betonovými trámy, ukazuje obr. 5.

K vnitřnímu vybavení stavební části tunelu patří požární vodovod s hydranty, služební chodníky, kabelovody, kabelové šachty včetně požárně odolných poklopů, výklenky SOS kabin a v neposlední řadě konstrukce vozovky s odvodněním pomocí štěrbinových žlabů vybavených samozhášecími kusy zabráňujícími šíření plamene. Ve střední stěně je navržena tunelová propojka krytá požárním uzávěrem. Další dva průchozí otvory ve střední stěně jsou před křižovatkami „Východ“ i „Západ“, ve kterých jsou situované požární hydranty sloužící pro hašení jak v severní, tak jižní tunelové troubě. V oblasti podzemní křižovatky „Západ“ je v jižní tunelové troubě navržen únikový východ se schodišťovou šachtou. Součástí únikového objektu je sdružená šachta umožňující propojení provozně-technologického objektu na povrchu území s technologickým vybavením tunelu a vedení kabelů i potrubí požárního vodovodu od požární nádrže. Pod únikovým objektem se nachází sběrná jímka pro vodu odváděnou z povrchu vozovky. Zdrojem vody je jednak dešťová voda stékající do tunelu z ramp, dále technologická voda z mytí tunelu, případně voda z požárního zásahu. Z jímky je voda přečerpávána výtlačným potrubím do jímky znečištěných vod, s možností odvezení cisternami do čistírny odpadních vod. Do této jímky je voda přečerpávána pouze v případě mytí tunelu, provádění požárního zásahu nebo nehody s únikem škodlivých kapalin. Dešťová voda je odváděna přímo do městské kanalizace.

Projektování tunelu a kontrola návaznosti jeho konstrukcí na okolní zástavbu vyžaduje použití obsáhlého 3D modelu, který zahrnuje prvky zajištění stavebních jam, vedení kabelovodů a inženýrských sítí, vnitřního vybavení tunelu, objekty městské zástavby i umístění kolejí. Model je podkladem pro zpracování projektu v režimu BIM. Po výrazném zjednodušení modelu, včetně odstranění stropní desky, je možné na obr. 6 nahlédnout do jeho útrob a pochopit jak nosný systém tunelu, tak i dopravní propojení čtvrti Suché Vrbné na straně podzemní křižovatky „Východ“ s centrem města na straně podzemní křižovatky „Západ“.

4. ETAPIZACE VÝSTAVBY

Vzhledem k dopadům výstavby na život města i křížení stavební jámy s kolejištěm seřadovacího a osobního nádraží bylo nutné věnovat mimořádnou pozornost optimalizaci etapizace výstavby a sestavení jejího harmonogramu. Návrh postupu výstavby a všech souvisejících činností, při dodržení přípustných délek výluk jednotlivých kolejí osobního i seřadovacího nádraží v jednotlivých etapách výstavby, patřil vedle návrhu technického řešení tunelu k nejnáročnějším fázím projektu [4].

V etapách výstavby podzemních křižovatek a ramp, které nevyžadují výluky železničních kolejí, bude prováděna příprava území, demolice, přeložky inženýrských sítí mimo prostor stavební jámy a výkopy stavební jámy pro podzemní křižovatky, včetně stavebních ramp na úroveň dna tunelu. Při návrhu etapizace výstavby bylo nutné zohlednit i omezenou kapacitu mezideponií v blízkosti stavby a odvoz výkopku na trvalé deponie mimo město.

Práce v kolejišti s nutnou výlukou konkrétních skupin kolejí probíhá ve třech etapách. První začíná z prostoru podzemní křižovatky „Východ“. Po dokončení první etapy se stavba přesune do prostoru podzemní křižovatky „Západ“. Zajištění provozu osobního nádraží vyžaduje nad stavební jámu instalovat dvě mostní provizoria a koleje postupně překládat. Třetí etapa výstavby se neobejde bez částečného odvozu vytěžené zeminy po železnici.

from tunnel washing, or eventually water from firefighting. Water is then overpumped from the sump via rising piping into a sump for polluted water, with an option of transport by cisterns into a water treatment plant. Water is overpumped into this sump only when washing the tunnel, firefighting, or when a crash causes a spill of hazardous liquids. Rainwater is drained directly into the city sewerage.

Tunnel design and verification of connections of its structures to the surrounding built-up area requires the usage of an in-depth 3D model that includes elements of construction pits securing, cable ducts, and engineering networks routing, inner tunnel equipment, urban structures, and rail placement. The model is a foundation for design preparation in the BIM regime. After a substantial simplification of the model, including the removal of the ceiling slab, it is possible to take a look inside it in Fig. 6 and to understand not only the load-bearing system of the tunnel, but also the transportation connection of quarters Suché Vrbné on the side of the “East” underground intersection and city centre on the side of the “West” underground intersection.

4. CONSTRUCTION PHASING

Considering the impact of the construction on city life and the crossing of the construction pit with the trackage of the switchyard and passenger railway station, it was necessary to dedicate extraordinary attention to the optimisation of construction phasing and forming its time schedule. The most challenging design phase, besides designing the technical solution of the tunnel, was the design of excavation processes and all related activities while abiding by permissible traffic closure lengths of individual tracks of the passenger railway station and switchyard in each phase [4].

Other activities will be carried out during phases of constructing underground intersections and ramps that do not require traffic closures of rails, mainly area preparation, demolitions, engineering networks relocations away from the area of the construction pit, and construction pit excavation for underground intersections, including construction ramps down to the level of the tunnel floor. While designing construction phasing, it was necessary to take into consideration the limited capacity of nearby temporary storage sites and the disposal of excavated material to permanent storage outside of the city.

Work inside the trackage with a necessary traffic closure of a specific set of tracks takes place in three phases. The first one begins from the area of the “East” underground intersection. After finishing the first phase, the construction site relocates to the area of the “West” underground intersection. Securing the operation of the passenger railway station requires installing two temporary bridges above the construction pit and progressively relocating the tracks. The third phase of construction will not do without a partial removal of excavated soil by rail.

Each phase includes the disassembly of track panels and power catenaries, the removal of trackwork, a pre-excavation for the installation interlocking pile walls along the entire circumference of the partial construction pit, pumping out of groundwater, earthwork, anchoring of interlocking pile walls, construction of the load-bearing tunnel structure itself, its backfill, and before commencing work on the next phase the restoration of railway operation in the section of the previous phase.

Before commencing trenching of the construction pit, it will first be necessary to lower the groundwater level by pumping from wells such that the temporary construction pit bottom will be sufficiently high above the pumped level and that the bottom will not become

V každé z etap je prováděna demontáž kolejových polí a trakčního vedení, odstranění železničního svršku, předvýkop pro instalaci štetovnicových stěn po celém obvodu dílčí stavební jámy, vyčerpání podzemní vody, zemní práce a kotvení štetovnicových stěn, výstavba vlastní nosné konstrukce tunelu, její zásyp a před zahájením prací na další etapě obnovení železničního provozu v úseku předchozí etapy.

Před zahájením hloubení stavební jámy bude nejprve nutné pomocí studní snížit čerpáním hladinu podzemní vody tak, aby dočasné dno stavební jámy bylo v dostatečné výšce nad čerpanou hladinou a nedocházelo k rozbředání dna. Před dosažením dna stavební jámy musí být hladina vody snížena až na úroveň nepropustného podloží tvořeného neogenními jíly. Při postupném odtěžování stavební jámy budou štetové stěny kotveny přes ocelové převázky předpjatými lanovými kotvami. V každé etapě výstavby je nutné zajistit návaznost štetových stěn. Dokud nedojde k vybetonování celého tubusu tunelu, včetně podzemních křižovatek i ramp, a k zaplnění prostoru stavební jámy popílkocementovou suspenzí, je nutné zachovat vodotěsnost jak dílčích etap, tak stavební jámy jako celku. V opačném případě by došlo k zatopení již hotových částí tunelu. Bez zaplnění prostoru mezi štetovnicovými stěnami a tunelem suspenzí by vlivem vzlaku hrozilo riziko vyplavání konstrukce. Popílkocementová suspenze je volena zejména s ohledem na nutnost vyplnění stísněného prostoru mezi štetovnicemi a tubusem tunelu, minimalizaci sedání pod kolejistěm a rychlé obnovení provozu na povrchu území.

V místě budoucího prodloužení tunelu do ulice Nádražní je navržena čelní stěna, která je vodonepropustně spojena s ostěním tunelu a je navržena tak, aby po jejím vybourání nebyla narušena statická funkce již provozovaného tunelu, tj. staticky netvoří podporu stropní desky ani bočních stěn tunelu. Plánovaná celková doba výstavby je cca 2 200 dnů.

5. ZAJIŠTĚNÍ BEZPEČNOSTI PROVOZU

V rámci návrhu opatření pro zajištění bezpečnosti provozu bylo zpracováno požární bezpečnostní řešení stavby [5], operativně taktická studie [6] prokazující možnost provedení požárního zásahu a v souladu s nařízením vlády č. 264/2009 Sb. i bezpečnostní dokumentace s analýzou rizik [7], zohledňující základní zhodnocení havarijních scénářů se zahrnutím konstrukčních faktorů a podmínek provozu, které mají vliv na jeho bezpečnost. Hodnocením prošly nejsložitější rizikové situace spojené zejména s kvalitativním vyhodnocením možnosti přepravy nebezpečných nákladů. Vzhledem ke složitosti podzemního objektu byla riziková analýza vypracována i přesto, že je předpisy vyžadována až u tunelů delších než 500 m. Hlavním důvodem pro toto rozhodnutí byla skutečnost, že tunel obsahuje dvě podzemní křižovatky, což není obvyklé, a že navrhované řešení tunelu nesmí podle požadavků zadávací dokumentace znemožnit uvažované prodloužení tunelu do ulice Nádražní s délkou přesahující 500 m v tzv. „dlouhé“ variantě. I když v době projektování nebyla upřesněna poloha portálu Nádražní, mohla by délka tunelu po prodloužení dosahovat až 725 m. Pro analýzu byly zvoleny normativní i kvantitativní metody s vyhodnocením bezpečnostní kategorie tunelu, specifikací bezpečnostních stavebních úprav i technologického vybavení, zhodnocením havarijních scénářů a použitím kvantitativního oceňování rizik QRAM (Quantitative Risk Assessment Model) vyvíjeného organizací PIARC (Permanent International Association of Road Congresses) ve spolupráci s OECD.

slushy. Before reaching the bottom, the groundwater level must be lowered to the level of impermeable bedrock formed by Neogene clays. Throughout progressive excavating of the construction pit, the interlocking pile walls will be anchored through steel walers by prestressed cable anchors. It is necessary to secure the continuity of underground walls in each phase of construction. Until the entire tunnel tube, including underground intersections and ramps, is concreted and the space of the construction pit is filled by a fly ash cement suspension, it is necessary to maintain water impermeability not only of partial phases, but also the construction pit. Were it the other way around, already finished tunnel sections would flood. Not filling the space between the interlocking pile walls and the tunnel with the suspension would risk surfacing of the structure due to buoyancy. The fly ash cement suspension is selected mainly with regard to the need to fill a cramped space between the interlocking pile walls and the tunnel tube, the minimisation of settlement underneath the trackage, and the quick restoration of operations on the surface.

A frontal wall is designed in place of the future tunnel elongation into Nádražní Street that has a water-tight connection with the tunnel lining and is designed such that the structural function of the already in-operation tunnel would not be disrupted after its demolition, i.e., that it does not form a structural support of the ceiling slab or lateral tunnel walls. The expected duration of the construction is ca. 2,200 days.

5. SECURING TRAFFIC SAFETY

As part of the design of measures for securing traffic safety a building fire safety plan [5] was prepared, along with an operative-tactical study [6] demonstrating the possibility to carry out a firefighting response in accordance with Government Regulation No. 264/2009 Sb., and safety documentation with risk analysis [7], which takes into account basic evaluation of emergency scenarios while considering structural factors and traffic conditions that have an impact on its safety. The most difficult risk situations related mainly to qualitative assessment of possible hazardous goods transport went through the rating. In regard to the complexity of the underground structure, risk analysis was prepared despite the fact that legislation only requires it for tunnels longer than 500m. The principal reason for this decision was the fact that the tunnel contains two underground intersections, which is not commonplace, and that according to the requirements of the tender documentation, the designed tunnel solution must not thwart the considered elongation of the tunnel to Nádražní Street, therefore surpassing a length of 500m in the so-called “long” variant. Even though at the time of designing the location of the Nádražní portal was not specified, the length of the tunnel could reach 725m after elongation. Normative and quantitative methods were chosen for the analysis, including tunnel safety category assessment, specification of safety construction modifications and technological equipment, and evaluation of emergency scenarios. On top of that, quantitative risk assessment QRAM (Quantitative Risk Assessment Model) was used, developed by the organisation PIARC (Permanent International Association of Road Congresses) in cooperation with OECD.

For the extent of safety and technological equipment of a tunnel, fundamental data is not only the length and number of driving lanes, but also traffic intensity and traffic flow composition, which is necessary to express with the quantity of equivalent vehicles. The calculation was based on a traffic model elaborated prospectively for 2056, while for the southern and northern tunnel tubes not

Pro rozsah bezpečnostního a technologického vybavení tunelu je kromě délky a počtu jízdních pruhů podstatným údajem intenzita dopravy a skladba dopravního proudu, kterou je nutno vyjádřit počtem ekvivalentních vozidel. Pro výpočet se vycházelo z dopravního modelu zpracovaného pro výhled do roku 2056, přičemž byla pro jižní a severní tunelovou troubu posuzována jak krátká varianta určená k realizaci, tak i dlouhá varianta s výhledovým zahloubením tunelu do ulice Nádražní. Pro krátkou variantu se ve výhledu předpokládá 6 634 ekvivalentních vozidel v severní tunelové troubě (STT) a 5 746 ekvivalentních vozidel v jižní tunelové troubě (JTT). V případě prodloužení tunelu do ulice Nádražní by se jednalo o 9 943 (STT), resp. 9 926 (JTT) ekvivalentních vozidel.

Na základě délky tunelu a údajích o předpokládaných dopravních datech byl tunel v krátké variantě zařazen do bezpečnostní kategorie TC, ve dlouhé variantě do bezpečnostní kategorie TA. S tím souvisí doporučené a povinné vybavení tunelu technologickým vybavením podle požadavků předpisu TP98. Vzhledem k možnosti prodloužení tunelu do ulice Nádražní bylo pro technologické vybavení, a zejména pro použití nuceného větrání v dlouhé variantě, nutné dimenzovat kabelové trasy nebo uvažovat s možností

only the short version meant for implementation was assessed, but also the long variant with a prospective extension of the tunnel to Nádražní Street. A total of 6,634 equivalent vehicles is expected prospectively for the short variant in the northern tunnel tube (NTT), and 5,746 equivalent vehicles in the southern tunnel tube (STT). As for the elongation of the tunnel to Nádražní Street, 9,943 (NTT) and 9,926 (STT) equivalent vehicles are in question.

On the basis of tunnel length and expected traffic data, the tunnel was classified as safety category TC in the short variant and TA in the long variant. That is related to the recommended and mandatory tunnel technological equipment according to the requirements of the TP98 regulation. Because of the option to elongate the tunnel into Nádražní Street, it was necessary to design cable routes for technological equipment and mainly for the use of forced ventilation, or to consider the option of connecting a fire water main in the long variant. All of that using measures that would minimise traffic restrictions in the already in-operation tunnel.

The following boundary conditions are expected for tunnel operation:

- one-way traffic as standard with two driving lanes in each tunnel tube;
- wo-way traffic on ramps, and in the case of the long variant, in the tunnel underneath Nádražní Street;
- speed limit during standard operation 50km/h;
- traffic control and surveillance from a controller centre with permanent staffing;
- entrance ban for vehicles with dangerous goods (ADR) and city public transport buses.

Chosen for the risk scenario based on evaluating the tunnel arrangement and all boundary conditions was a crash of a light lorry and a bus in the area of the northern tunnel tube in front of the entrance into the “West” intersection. As a consequence of the crash, emergency exit routes in the area of the “West” (Mánesova) tunnel intersection can not be used by escaping individuals. The tunnel is fitted with CCTV and stationary vehicle detection, along with smoke detectors. The control system sets off an alarm with the subsequent closing of the tunnel by way of interchangeable traffic signage at the entrance portals of both tunnel tubes. Vehicles that entered the southern tunnel tube before closing exit it, and the southern tunnel tube is therefore left empty.

A fundamental criterion for securing safety after the inception of an emergency incident is the evacuation of people and time for



Obr. 7 Příjezd do podzemní křižovatky „Východ“

Fig. 7 Entrance into the “East” underground intersection



Obr. 8 Pohled do ulice Nádražní s portálem Mánesova

Fig. 8 A view into Nádražní Street with the Mánesova portal

nápojení požárního vodovodu. To vše s opatřeními, která by minimalizovala omezení provozu v již provozovaném tunelu.

Pro provozování tunelu se předpokládají následující okrajové podmínky:

- standardně jednosměrný provoz se dvěma jízdními pruhy v každé tunelové troubě;
- obousměrný provoz na rampách a v případě dlouhé varianty v tunelu pod ulicí Nádražní;
- nejvyšší povolená rychlost při standardním provozu 50 km/hod;
- řízení provozu a dohled nad dopravou dispečerským pracovištěm se stálou obsluhou;
- zákaz vjezdu vozidel s nebezpečným nákladem (ADR) a autobusů MHD.

Na základě vyhodnocení dispozice tunelu a všech okrajových podmínek byla pro rizikový scénář zvolena havárie lehkého nákladního vozidla a autobusu v oblasti severní tunelové trouby před vjezdem do křižovatky „Západ“. V důsledku nehody není možné pro únik osob využít únikové cesty v prostoru tunelové křižovatky „Západ“ (Mánesova). Tunel je vybaven videodohledem s detekcí stojícího vozidla a kouře. Řídicí systém vyvolá alarm s následným uzavřením tunelu prostřednictvím proměnného dopravního značení na vjezdových portálech obou tunelových trub. Vozidla, která před uzavřením vjela do jižní tunelové trouby, ji opustí a jižní tunelová trouba tak zůstane prázdná.

Zásadním kritériem pro zajištění bezpečnosti po vzniku mimořádné události je evakuace osob a doba úniku do bezpečné oblasti. Na základě obecně platných metodik byla pro prognózu dopravní zátěže v roce 2056, a pro uvedený rizikový scénář, vypočtena pro krátkou i dlouhou variantu tunelu teoretická délka kolony, stanoven počet a typ vozidel v koloně a počet osob, které se musí z tunelu evakuovat. V případě krátké varianty se předpokládá délka kolony 243 m, resp. 307 m s mezerou mezi vozidly 1 m. V tomto případě v koloně uvízne 48 vozidel a celkem 121 osob.

V případě dlouhé varianty tunelu dosáhne délka kolony 351, resp. 461 m, bude ji tvořit 74 vozidel se 172 osobami. Pro rychlost úniku se předpokládá konzervativní hodnota 0,5 m/s. Na základě výpočtu délky únikových cest a počtu evakuovaných osob poslední osoba přejde do druhé tunelové trouby do 146 sekund po zahájení evakuace. Zásah prvořadových jednotek Hasičského záchranného sboru se předpokládá do 6 až 8 minut. V době jejich příjezdu již bude pravděpodobně sebezáchra osob dokončena.

K zajištění bezpečnosti provozu slouží stavební úpravy a technologické vybavení tunelu. Jednotlivé prvky technologického vybavení tunelu jsou napojené na řídicí systém a dále do centrálního dispečinku, ze kterého je možné dění v tunelu vzdáleně sledovat a řídit.

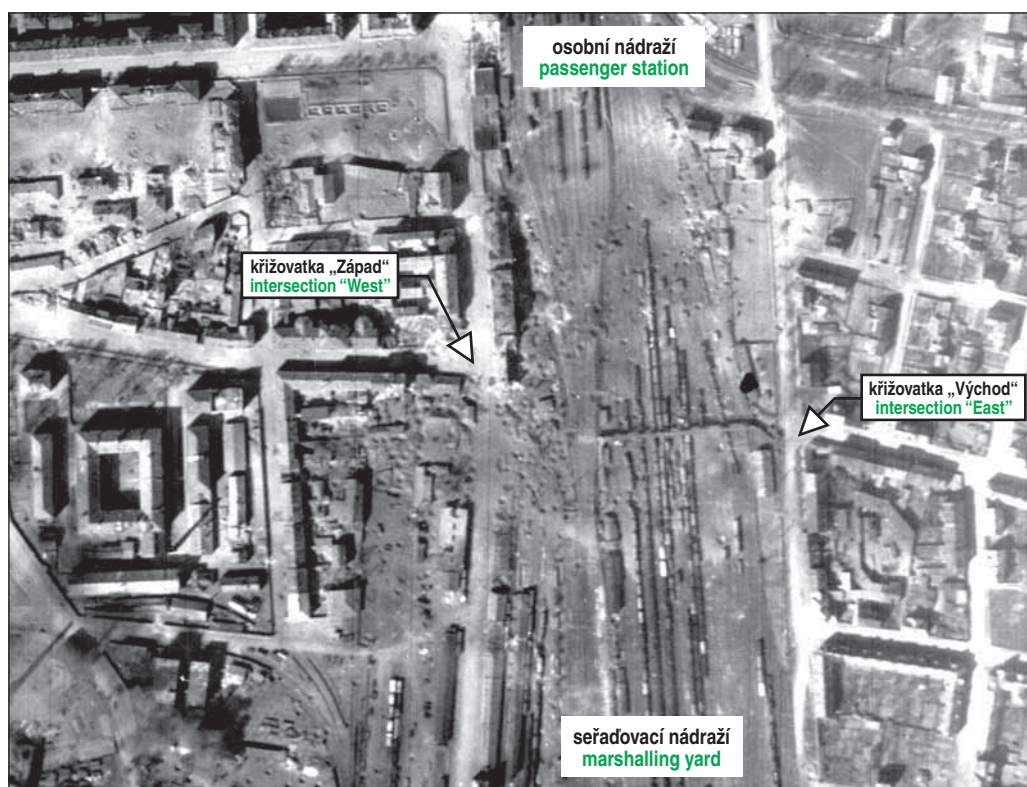
Obecně lze říci, že v případě krátkých tunelů hraje sebezáchra prchajících osob zásadní roli

an escape to a safe area. Based on generally valid methods, the theoretical length of a traffic jam was calculated for prospective traffic volume in the year 2056, for the given risk scenario, and for the short and long tunnel variant. Besides length, the number and type of vehicles and people who must evacuate in the traffic jam were determined. In the case of the short variant, a 243m traffic jam is expected, or 307m with a 1m gap between vehicles. In this case, 48 vehicles will be left stranded in the traffic jam along with a total of 121 people.

In the case of the long tunnel variant, the traffic jam length will reach 351m and 461m, respectively. It will be formed by 74 vehicles and 172 people. A conservative value of 0.5m/s is assumed as the escape speed. On the basis of a calculation of the lengths of emergency routes and the number of evacuating people, the last person crosses over to the other tunnel tube in under 146 seconds after evacuation begins. The response of the first responders of the fire department is expected in 6 to 8 minutes. At the time of their arrival, the self-rescue of people will most likely already be finished.

To secure traffic safety, construction modifications and technological equipment of the tunnel are used. Individual elements of the technological equipment of the tunnel are connected to a control system and then to the central control room, from which it is possible to remotely observe and control occurrences in the tunnel.

It is possible to generally state that in the case of short tunnels, self-rescue of fleeing people plays a fundamental role, and they are usually able to reach a safe area even before the arrival of first responders. Therefore, knowledge of behaviour in the tunnel in the case of an emergency event is important. The entrance along a ramp from U Lávký Street into the “East” underground intersection from the perspective of the driver is shown in Fig. 7. A view from the Mánesova ramp into Nádražní Street with an overall layout of the passenger and switchyard railway station and a new pedestrian bridge is depicted in Fig. 8.



Obr. 9 Rozsah bombardování v březnu 1945
Fig. 9 Extent of bombing in March of 1945

zdroj doc. Dr. Ing. Jiří Chládek source doc. Dr. Ing. Jiří Chládek



Obr. 10 Celkový pohled na dokončenou stavbu od jihu
Fig. 10 An overview of the finished structure from the south

a zpravidla se jim podaří dosáhnout bezpečné oblasti ještě před příjezdem složek IZS. Důležitá je proto znalost chování v tunelu v případě mimořádné události. Vjezd po rampě z ulice U Lávky do podzemní křižovatky „Východ“ z pohledu řidiče ukazuje obr. 7. Pohled od rampy Mánesova do ulice Nádražní s celkovou dispozicí osobního i seřadovacího nádraží a novou lávkou pro pěší znázorňuje obr. 8.

6. DALŠÍ KOMPLIKACE Z HLEDISKA NÁVRHU I PROVÁDĚNÍ

Geotechnické podmínky, složitost podzemních konstrukcí, těsná vazba na městskou zástavbu a komplikace spojené s výlukami osobního i seřadovacího nádraží nejsou jedinými okolnostmi, které komplikují návrh technického řešení a provádění této náročné inženýrské stavby. Bohužel se do celého procesu promítají i neblahé dopady konce druhé světové války a bombardování nádraží v jejím závěru. Podle dochovaných fotografických materiálů, i na základě průzkumů v jiných částech města, nelze v dané lokalitě vyloučit výskyt nevybuchlých leteckých pum. Hloubka zaboření pumy závisí na několika faktorech. Jedná se především o výšku, ze které probíhá bombardování, a o vlastnosti prostředí, do kterého puma dopadá. Standardní hloubka se v lokalitě nádraží pohybuje do 3,5 m. Vzhledem ke dvěma bombardovacím vlnám nelze vyloučit shoení pumy do kráterů z prvního náletu a hloubka se tak může zvýšit na cca 5 m pod stávajícím povrchem. Proto je součástí projektové dokumentace i pyrotechnický průzkum [8], ze kterého vyplývají následující informace.

K prvnímu náletu došlo 23. 3. 1945 a uskutečnilo jej šest amerických bombardérů B-24 Liberator s nákladem 10 až 12 kusů pum, které zasáhly obě výtopy a montovnu hlavního nádraží. Ke druhému náletu plánovanému již cíleně na prostor nádraží došlo hned následující den a bylo při něm svrženo 3 238 kusů převážně lehčích trhavých pum o váze 100 liber. Bombardování probíhalo

6. FURTHER COMPLICATIONS FROM THE VIEW OF DESIGN AND IMPLEMENTATION

Geotechnical conditions, complexity of underground structures, close ties to urban development, and complications related to traffic closures of the passenger railway station and switchyard are not the only circumstances that complicate the design of the technical solution and implementation of this challenging engineering structure. Unfortunately, the detrimental impact of the Second World War and the bombing of the railway station toward its end carries over to the entire process. According to preserved photographic material and on the basis of explorations in other parts of the city, it is impossible to rule out the presence of undetonated aircraft bombs in the given area. The depth to which a bomb buries itself depends on multiple factors. It is mainly the altitude at which the bombing takes place and the properties of the area that the bomb impacts. Standard depth in the location of the railway station reaches up to 3.5m. Considering that two waves of bombing took place, it is not possible to exclude that bombs were dropped into craters from the first air raid, and the depth can therefore increase to ca. 5m beneath the current surface. That is why a part of the design documentation is also an explosives survey [8], from which the following information arises.

The first air raid occurred on 23/03/1945, and it was carried out by six American B-24 Liberator bombers with a payload of 10 to 12 bombs, which struck both locomotive sheds and an assembly line of the railway station. The second air raid that was now purposefully targeting the area of the railway station took place immediately the following day, and it included the dropping of 3,238 mostly lighter explosive bombs with a weight of 100 pounds. The bombing was executed from an altitude of 6,500m during perfect visibility and without the use of anti-air defence, so the railway station was hit with great accuracy. The direction and the areal scale of the bombing corresponded to a strip of the future construction site.

z výšky 6 500 m za dokonalé viditelnosti a bez použití protivzdušné obrany, takže bylo nádraží zasaženo s velkou přesností. Směr i plošný rozsah bombardování odpovídal pásu budoucího staveniště. Krátery po bombardování v místě plánovaného tunelu ukazují dobová fotografie na obr. 9.

Detekce nevybuchlých leteckých pum je založena na identifikaci kovových předmětů v zemním prostředí. Proto nebude v kolejišti možné provést pyrotechnický průzkum před snesením kolejových polí a trakčního vedení. Následně bude proveden pyrotechnický průzkum z povrchu území. Druhou etapu pyrotechnického průzkumu bude nutné provést z předvýkopu před zarážením štetovnic, neboť jejich materiál již bude při hledání působit rušivě.

7. ZÁVĚR

Projekt tunelu Pětídomí je jak po stránce technického návrhu ve složitých geotechnických podmínkách, tak po stránce technologického postupu výstavby a návrhu jednotlivých etap výstavby mimořádně náročný. Dopravní řešení tunelu s podzemními křižovatkami nemá v České republice obdoby, a i v rámci Evropy se jedná spíše o výjimečnou konstrukci. To vyžaduje od projektantů všech profesí mimořádné nasazení i vysokou odbornou úroveň. V současné době se očekává pravomocné vydání stavebního povolení, na jehož termín je navázán termín dokončení dokumentace PDPS a následné vypsání soutěže na výběr zhotovitele. Podle předpokladů by měla celá stavba začít v roce 2027. To je přibližně čtvrt století od první verze projektu tunelu pod nádražím. Předpokládaná doba výstavby je šest let, tunel je projektován na životnost 100 let. Úspěšná realizace předpokládá od všech účastníků výstavby nadstandardní nasazení. Stavba takového rozsahu v intravilánu města bude vyžadovat od projektanta, zhotovitele i investora schopnost reagovat na skutečně zastížené podmínky, od obyvatel i návštěvníků města pak především trpělivost a toleranci. Po dokončení stavby dojde k propojení východní a západní části města se všemi výhodami, které to obyvatelům města České Budějovice přinese (viz obr. 10). Pro projekční tým firmy SAGASTA s.r.o. bude tunel Pětídomí další významnou dopravní stavbou. Úplnou představu o připravované stavbě poskytuje video, které je dostupné na YouTube po načtení QR kódu na obr. 10.

**Ing. LIBOR MAŘÍK, libor.marik@sagasta.cz,
SAGASTA s.r.o.**

Recenzovala Reviewed by: doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.

Craters left after the bombing in place of the planned tunnel are depicted on a historic photograph in Fig. 9.

The detection of undetonated aircraft bombs is based on the identification of metal objects in the soil environment. That is why it will not be possible to carry out an explosions survey in the trackage before removing rail panels and electric catenaries. Then, the explosives survey will be carried out from the surface. The second phase of the explosives survey will have to be executed from a pre-excavation before driving the interlocking piles, since the material will already cause interference during the exploration.

7. CONCLUSION

The Pětídomí tunnel design is exceptionally difficult not only due to the technical design in challenging geotechnical conditions, but also due to technological construction procedures and the design of individual construction phases. The transportation solution of the tunnel with underground intersections is unparalleled in the Czech Republic, and even within Europe, it is more of an extraordinary structure. That requires outstanding commitment and a high professional level from designers of all professions. Currently, a legally effective construction permit is being anticipated, with its deadline tied to the deadline for PDPS documentation completion and then for the announcement of the tender for the selection of a contractor. According to expectations, the entire construction should commence in 2027. That is approximately a quarter of a century since the first version of the design for a tunnel underneath the railway station. The expected duration of construction is six years, and the tunnel is designed for a service life of 100 years. A successful implementation expects above-standard commitment from all construction participants. A construction of such extent inside the built-up area in the city will demand that the designer, contractor, and contract owner have the capability of reacting to actually encountered conditions, and then from citizens and visitors of the city, primarily patience and tolerance. After completing the construction, the eastern and western parts of the city will be connected, and it will bring all the benefits for the residents of České Budějovice (see Fig. 10). For the design team of the SAGASTA s.r.o. company, the Pětídomí tunnel will be another significant transportation structure. A complete idea about the prepared structure is provided by a video that is available on YouTube after scanning a QR code in Fig. 10.

**Ing. LIBOR MAŘÍK, libor.marik@sagasta.cz,
SAGASTA s.r.o.**

LITERATURA / REFERENCES

- [1] PILAŘOVÁ, E. a RYCHTECKÝ, J., Nově připravované silniční tunely v Českých Budějovicích. *Tunel*. 2021, roč. 30, č. 2, s. 55–63.
- [2] TESIA SPECIÁLNÍ TECHNICKÉ PRÁCE S.R.O. *Přeložka silnice II/156 a II/157 – 3. etapa, podjezd pod železničním nádražím, Podrobný inženýrskogeologický průzkum*. 2023.
- [3] SAGASTA S.R.O. *Přeložka silnice II/156 a II/157 – 3. etapa, podjezd pod železničním nádražím, Projektová dokumentace tunelu Pětídomí ve stupni DUSP*. 07/2024.
- [4] SAGASTA S.R.O. *Přeložka silnice II/156 a II/157 – 3. etapa, podjezd pod železničním nádražím, Zásady organizace výstavby*. 07/2024.
- [5] ING. JAN VÁLKA. *Přeložka silnice II/156 a II/157 – 3. etapa, podjezd pod železničním nádražím, Požárně bezpečnostní řešení*. IQservis.cz, s.r.o. 07/2024.
- [6] ING. JAN VÁLKA. *Přeložka silnice II/156 a II/157 – 3. etapa, podjezd pod železničním nádražím, Operativně taktická studie*. IQservis.cz, s.r.o. 07/2024.
- [7] ING. ALEŠ LEBL. *Přeložka silnice II/156 a II/157 – 3. etapa, podjezd pod železničním nádražím, Bezpečnostní dokumentace*. ConSalt s.r.o. 07/2024.
- [8] CHLÁDEK, J. *Přeložka silnice II/156 a II/157 – 3. etapa, podjezd pod železničním nádražím, Studie pyrotechnických rizik, Pyrotechnický průzkum*. BORGATA s.r.o. 2024.

FOTOREPORTÁŽ Z VÝSTAVBY DRUHÉHO RAŽENÉHO TRAMVAJOVÉHO TUNELU V BRNĚ – TUNEL KAMECHY

PICTURE REPORT FROM THE CONSTRUCTION OF THE SECOND EXCAVATED TRAM TUNNEL IN BRNO – THE KAMECHY TUNNEL



zdroj archiv AE Brno source AE Brno archive

Obr. 1 Vyražená kalota tunelu
Fig. 1 Excavated top heading of the tunnel



zdroj archiv AE Brno source AE Brno archive

Obr. 2 Vyražený tunel v plném profilu
Fig. 2 Excavated tunnel in its full profile



zdroj: MARTI a.s. source: MARTI a.s.

Obr. 3 Provizorní portál Zebětín připravený k slavnostní prorážce
Fig. 3 Zebětín temporary portal prepared for a ceremonial breakthrough



zdroj archiv AE Brno source AE Brno archive

Obr. 4 Jižní portál Bystrc, montáž výztuže základových pásů hloubeného tunelu
Fig. 4 Bystrc southern portal, assembly of rebar for strip footing of the cut-and-cover tunnel



zdroj archiv AE Brno source AE Brno archive

Obr. 5 Provizorní portál a stavební jáma hloubeného úseku Žebětín po dokončení ražeb
Fig. 5 Temporary portal and construction pit for the cut-and-cover Zebětín section after completing excavation



zdroj archiv AE Brno source AE Brno archive

Obr. 6 Montáž formy pro betonáž sekundárního ostění
Fig. 6 Assembly of formwork for the concreting of secondary lining

ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB THE WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

NORSKÉ KRÁLOVSTVÍ REALIZUJE VÝZNAMNÝ PODZEMNÍ PROJEKT
THE KINGDOM OF NORWAY IS IMPLEMENTING AN IMPORTANT UNDERGROUND PROJECT

Obr. 1 Silniční tunely v Norsku – počet 1 524, délka 1 557 km
Fig. 1 Road tunnels in Norway – total of 1,524, length 1,557km

Norway is, besides other merits, an important tunnelling power. This well-deserved characteristic is confirmed by an extraordinary number of underground structures, including transportation, mainly road, hydraulic, municipal, and even civil. To illustrate, let us remember two probably most well-known Norwegian underground structures – Laerdahl, the longest road tunnel in the world from the year 2000 (25.8km), and the Gjøvik hockey stadium, which was built underground for the Winter Olympic Games held in Lillehammer in 1994. Today, another noteworthy project is being implemented in Norway – the Rogfast road tunnel near the city of Stavanger on the southwestern coast of the country. A large part of the tunnel is excavated under the sea, at a depth locally reaching almost 400 metres. After completion, the Rogfast tunnel will be the deepest, and with a total length of 26.7km, also the longest submarine tunnel in the world.

Norsko je, kromě jiných předností, významnou tunelářskou velmocí. Tuto oprávněnou charakteristiku potvrzuje mimořádné množství podzemních staveb dopravních, zejména silničních (obr. 1), vodohospodářských, komunálních i občanských. Pro ilustraci připomeňme dvě asi nejznámější norské podzemní stavby – Laerdahl, nejdelší silniční tunel na světě z roku 2000 (25,8 km), a hokejový stadion Gjøvik, který byl vybudován v podzemí pro zimní olympijské hry konané v Lillehammeru v roce 1994.

V současné době je v Norsku v realizaci další pozoruhodný projekt – silniční tunel Rogfast v blízkosti města Stavanger na jihozápadním pobřeží země (obr. 2). Tunel je ze značné části ražen pod mořem, a to v hloubce dosahující místně téměř 400 metrů. Po dokončení bude Rogfast nejhlubším a s celkovou délkou 26,7 km také nejdelším podmořským tunelem na světě.

Je vhodné konstatovat, že norské tunelářství i v současnosti drží prvenství v délce podmořských tunelů, neboť v roce 2019 by otevřen východně od Stavangeru tunel Ryfast dlouhý 14,3 km. Ten se nachází jihovýchodně od budovaného tunelu Rogfast, při čemž oba tunely jsou součástí ambiciózního plánu zcela odstranit z norské národní silnice E39 na západním pobřeží mezi Kristiansandem a Trondheimem nutné trajekty na hlubokých fjordech. Trasa dálnice mezi těmito městy dlouhá 1 100 km by sice zůstala téměř stejně dlouhá (rozdíl je pouhých 50 km), avšak 21 hodin potřebných na cestu v současnosti by se zkrátilo na polovinu. Pětina z 5,6 milionu obyvatel Norska žije na jihozápadě země kolem měst Stavanger a Bergen. Území je označováno jako „zlaté pobřeží“, protože se zde nachází ropný, lososový a vodní průmysl. Dopravní propojení pobřežní silnice E39 je klíčovým tématem a norská vláda má velký zájem na odstranění závislosti na trajektech u silniční dopravě.

Tunel Rogfast je situován mezi lokalitami Harestad a Laupland (obr. 3); mírně za polovinou jeho délky je projektována velká podzemní křižovatka u ostrova Kvitsøy, která umožní vjezd a výjezd

do/z tunelu pro tento ostrov a přímé napojení na povrchovou silniční síť. Ve spodní části obr. 3 je znázorněn podélný řez tunelem, z nějž jsou patrné výrazně převládající úseky vedené pod mořem oproti částem tunelů budovaných pod pevninou. Maximálně použité sklonové nivelety jsou 7 % v krajních částech tunelů.

Rogfast má dvě tunelové trouby s mezilehlým pilířem šířky 15 m. Oba tunely mají vozovku se dvěma jízdními pruhy, odstavnými pruhy po obou stranách (obr. 4) a bezpečnostními propojkami mezi oběma troubami. Propojky pro průchod jsou prováděny každých 250 m, přičemž každých 1,5 km musí být realizována dostatečně velká propojka pro vozidla, umožňující během výstavby optimální dopravu materiálů, zařízení



Obr. 2 Podmořský tunel Rogfast na silnici E39
Fig. 2 Rogfast submarine tunnel on the E39 road



Obr. 3 Situace a podélný řez tunelem Rogfast

Fig. 3 Layout plan and longitudinal section of the Rogfast tunnel

a zaměstnanců. Ražba všech v projektu navržených podzemních objektů, s výjimkou jedné přístupové a dvou větracích šachet, se provádí metodou „dril & blast“, která je ve skandinávských zemích obvyklým postupem provádění ražeb. Výrubní profil každého záběru je skenován laserem, což umožňuje průběžné porovnání s velikostí profilu projektovaného. Primární ostění je ze stříkaného drátkobeto-

nu, s případnými výztužnými oblouky, sekundární ostění je železobetonové.

Rozsáhlost projektu se odráží i v ekonomických a ekologických údajích. Odhadované náklady na Rogfast přesahují 20 miliard norských korun (tj. cca 40 miliard korun) a jsou financovány částečně státem, částečně z mýtného, které bude v průběhu let vybíráno od

uživatelů. Za velmi podstatný přínos ekologický je pokládáno výrazné snížení emisí CO_2 díky eliminaci dieselových trajektů a podstatnému zkrácení času jízdy nákladních a osobních automobilů. Norsko, které je již nyní lídrem v zavádění elektromobilů, usiluje o to, aby tento náročný projekt podmořského tunelu podpořil další rozvoj nízkoemisní dopravy. První přípravné práce začaly již před řadou let, během kterých projekt prošel několika revizemi, změnami dodavatelů a úpravami rozpočtu. Norský silniční úřad (Statens vegvesen) očekává otevření tunelu Rogfast pro dopravu, zatím poněkud neurčitě, v průběhu příštího desetiletí. Náročná výstavba tohoto unikátního podmořského tunelu nepochybně znovu prověří vynikající úroveň norského tunelového inženýrství.

Zpracováno s podkladem scoop-it ITA-AITES N° 140.



Obr. 4 Ideová vizualizace jedné trouby tunelu Rogfast

Fig. 4 Visualisation of one tunnel tube of the Rogfast tunnel

prof. Ing. JIŘÍ BARTÁK, DrSc.

ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCES

SVĚTOVÝ TUNELÁŘSKÝ KONGRES WTC 2026 V MONTREALU
WORLD TUNNEL CONGRESS WTC 2026 IN MONTRÉAL

Obr. 1 Uvítací recepce WTC 2026 v Montrealu
Fig. 1 WTC 2026 welcoming reception in Montréal

The 52nd Tunnel Congress took place this year in Montréal, Canada. It was opened by a side programme on Friday, 15/05/2026, which was a training class for young tunnelling engineers under the auspices of ITA-AITES. From Sunday morning on 17/05/2026, the first ITA-AITES General Assembly of participating countries took place, and in the afternoon hours, individual Working Groups began their activities. In the evening on Sunday, a traditional welcoming reception for congress participants was held. On Monday morning, 18/05/2026, the 52nd WTC officially started with an opening ceremony by the chairman of the Executive Council and the ITA-AITES president (Andrea Pigorini), who was elected last year. After opening speakers who were complemented by a cultural and social programme, keynote lectures followed, given by multiple experienced specialists, and then the technical/expert lectures trailed, given by presenting participants in five selected sections. These took place from Monday afternoon to Wednesday afternoon. Within all three days, it was possible to watch a plethora of high-quality and interesting presentations on underground construction in the entire world. At the request of top ITA-AITES representatives, a minor change in the structure of Working Groups occurred in comparison to last year. On Wednesday afternoon, 20/05/2026, the 2nd ITA-AITES General Assembly took place, where the organising country for the 2029 WTC was chosen – Austria (Vienna). In the evening of the same day, a Gala dinner was organised for congress participants inside the congress palace. Technical excursions to selected underground constructions took place the following day. Next year, the WTC will be held in Europe, in Antwerp, Belgium, specifically from 23/04 to 29/04/2027.

Letošní 52. tunelářský kongres se konal v kanadském Montrealu. Světový tunelářský kongres byl vedlejším programem prakticky odstartován v pátek dne 15. 5. 2026 v dopoledních hodinách. Jednalo se o tréninkový kurs pro mladé tunelové inženýry pod záštitou ITA-AITES, který byl organizován v průběhu víkendu. Od nedělního

dopoledne 17. 5. 2026 se již konalo první Generální zasedání účastnických zemí ITA-AITES a v odpoledních hodinách zahájily svoji činnost jednotlivé pracovní skupiny, které měly vyhrazeny jak čas, tak i prostory kongresového paláce rovněž na pondělní odpoledne. Po různě náročném programu těchto Working Groups byla organizátory kongresu v neděli večer pořádána uvítací recepce pro účastníky kongresu, kde se v prostorách montrealského kongresového centra sešlo stovky tunelářských inženýrů (obr. 1).

V pondělí ráno dne 18. 5. 2026 byl 52. WTC oficiálně zahájen otevřicím ceremoniálem předsedou organizačního výboru a loni zvoleným prezidentem ITA-AITES (Andrea Pigorini). Po uvítacích řečnicích doplněných kulturně společenským programem následovaly vyzvané přednášky (tzv. Keynote Lectures) několika zkušených odborníků a na ně již navázaly technické/odborné přednášky prezentujících účastníků v pěti vybraných sekcích, které probíhaly od pondělního odpoledne až do středečního odpoledne. V rámci všech tří dnů bylo možné shlédnout velké množství velmi kvalitních a zajímavých prezentací z podzemního stavitelství z celého světa. Autorův příspěvek o supervizi ražených stanic nové linky metra v Torontu byl organizačním výborem přijat k orální prezentaci, jakožto jedinému českému inženýrovi.

Rád bych v tomto krátkém příspěvku zmínil i skutečnost, že na požadavek vrcholných představitelů ITA-AITES dochází od loňského roku (WTC 2025 Stockholm) k nepatrné změně ve struktuře pracovních skupin, aby vynaložená práce dobrovolníků nebyla zdvojována.



Obr. 2 Členové WG17
Fig. 2 WG17 members



Obr. 3 Představení publikace „Mitigation of major safety risks specific to long and deep tunnel construction“

Fig. 3 Presenting the publication „Mitigation of major safety risks specific to long and deep tunnel construction“

Pracovní skupina WG17, jejímž jsem členem, byla pouze přejmenována (obr. 2). V loňském roce tato skupina s novým názvem „Tunnelling in extreme conditions“ dokončila finální koncept publikace „Mitigation of major safety risks specific to long and deep tunnel construction“. V prvním čtvrtletí roku 2026 proběhla revize od zainteresovaných odborníků ITA-AITES. Jejich feedback byl velmi pozitivní a pár poznámek/doporučení se do Reportu s označením No. 42 zapracovalo tak, aby mohla být zmiňovaná publikace prezentována a vydána při WTC 2026 v Montrealu. Představení již pátého Reportu pod touto pracovní skupinou proběhlo v úterý dne 19. 5. 2026 v dopoledních hodinách (obr. 3) a pozitivní ohlas účastníků v sále i na kongresu byl zaslouženou odměnou všem, kdo se podíleli na vzniku této nové publikace. Jakoukoliv publikaci, resp. Report pod ITA-AITES lze bezplatně stáhnout a prostudovat na oficiálním webu organizace: <https://about.ita-aites.org/publications/wg-publications>.

Ve středu odpoledne dne 20. 5. 2026 proběhlo druhé Generální zasedání ITA-AITES v rámci tohoto kongresu, kde byla zvolena pořadatelská země WTC 2029 – Rakousko (Vídeň). Po doznění posledních technických prezentací a ukončení Generálního zasedání byla týž den večer v kongresovém paláci organizována Gala večere pro účastníky kongresu. Následující den ještě proběhly technické exkurze po zajištěných stavbách podzemního stavitelství. Posléze se všichni účastníci kongresu rozjeli do svých domovů, aby se velká část z nich zase sešla v příštím roce, tentokrát v Evropě v belgických Antverpách, na 53. Světovém kongresu, který se bude konat ve dnech od 23. 4. do 29. 4. 2027.

Ještě jedno téma, které rezonovalo kuloáry i přednáškovými sály kongresového paláce v Montrealu, bych nechtěl opomenout. Je to především potřeba zapojení mladých tunelářů z celého světa do různých aktivit pod ITA-AITES tak, aby odcházející odborníci byli postupně a přirozeně nahrazováni mladými inženýry. Proto i já touto formou apeluji na ředitele a vedoucí českých a slovenských organizací v našem oboru, aby se snažili účinně zapojit naše mladé inženýry do aktivní účasti a vzdělávání na těchto setkáváních tunelářských odborníků z celého světa.

Závěrem autor příspěvku stručně konstatuje, že letošního Světového tunelářského kongresu v Montrealu se za Českou tunelářskou asociaci (CzTA ITA-AITES, z. s.) zúčastnili pouze tři zástupci (předseda Ing. I. Hrdina, zástupce WG19 Ing. K. Rossler a zástupce WG17 Ing. R. Bernard). Tato skromná účast samozřejmě souvisela s finalizací příprav na mezinárodní tunelářskou konferenci PS 2026 v Praze, která se konala hned následující týden, a také pravděpodobně s místem konání na severoamerickém kontinentě. Autor tohoto příspěvku považuje úroveň letošního Světového tunelářského kongresu za velmi přínosnou a samotnou účast za inspirující. Zdař Bůh!

Ing. RADEK BERNARD, Ph.D., SG Geotechnika a.s.

ZHODNOCENÍ KONFERENCE PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2026 UNDERGROUND CONSTRUCTION PRAGUE 2026 CONFERENCE ASSESSMENT

The 16th year of the Underground Construction Prague international conference took place on the premise of the Clarion hotel from the 25th to the 27th of May 2026. It is the largest Czech tunnelling conference that is organised periodically every three years. A total of 783 participants registered for the conference (651 delegates from 25 countries and 132 representatives from 66 partner companies). The attendance was the highest when compared to previous years. The share of foreign participants this year was 32%.

The conference was actively attended by many renowned foreign experts who, besides other things, became involved in an open session focused on the topic “Planning, design, and construction of underground structures for High-Speed Rail (HSR)”. The current president of the International Tunnelling Association ITA-AITES Andrea Pigorini of Italy also lectured and discussed at the conference. A total of 74 oral presentations was given (including 4 keynote lectures, 10 invited lectures in sections and 10 invited lectures in the open session). A total of 21 electronic posters was presented throughout the conference. Classic poster stands were replaced by modern electric e-totems, displaying all received posters in a digital form. 125 contributions were published in the proceedings. Contributions were not required for the keynote lectures and lectures in the open session.

Details about the conference including the electronic proceedings and photographs can be found on www.psp Praha.cz. The electronic proceedings enable the access to all contributions, but also to submitted posters and presentations from the open session.

Ve dnech 25.–27. května 2026 proběhl v prostorách hotelu Clarion 16. ročník mezinárodní konference Podzemní stavby Praha. Jedná se o největší českou tunelářskou konferenci, která je pravidelně pořádána každé tři roky. Celkem bylo na konferenci zaregistrováno 783 účastníků (651 delegátů z 25 zemí a 132 zástupců ze 66 partnerských společností), v porovnání s minulými ročníky byla letošní účast nejvyšší. Podíl zahraničních účastníků tvořil letos 32 %.

Konference se aktivně zúčastnilo mnoho renomovaných zahraničních odborníků, kteří se mimo jiné zapojili do panelové diskuze zaměřené na téma „Projektová příprava a výstavba podzemních staveb na vysokorychlostních tratích“. Na konferenci také přednášel a diskutoval současný prezident mezinárodní tunelářské asociace ITA-AITES Andrea Pigorini z Itálie. Celkem bylo předneseno 74 ústních prezentací (včetně 4 úvodních, 10 vyzvaných v sekcích a 10 vyzvaných v panelové diskuzi). Během konference bylo prezentováno 21 elektronických posterů. Klasické posterové stojany byly nahrazeny moderními elektronickými e-totemy zobrazujícími všechny přijaté poster v digitální podobě. Ve sborníku bylo publikováno



Obr. 1 Recepce v Rezidenci primátora hl. m. Prahy
Fig. 1 Reception at the Residence of the Mayor of Prague



Obr. 2 Zahájení konference v hotelu Clarion
Fig. 2 Conference opening at the Clarion hotel



Obr. 3 Úvodní prezentace ředitele ŘSD ČR Ing. Radka Mátl
Fig. 3 Keynote lecture of the ŘSD ČR Director General Ing. Radek Mátl

125 příspěvků. Pro úvodní přednášky (Keynote lectures) a pro přednášky v panelové diskuzi nebyly příspěvky vyžadovány.

Podrobné údaje o konferenci včetně elektronického sborníku a fotografií lze nalézt na www.pspraha.cz. Elektronický sborník umožňuje přístup ke všem příspěvkům, ale také přístup k odevzdaným posterům a k prezentacím z panelové diskuze.

V neděli 24. 5. 2026 večer se uskutečnila recepce v Rezidenci primátora hl. m. Prahy, které se zúčastnilo 108 pozvaných hostů. Na dané recepci přivítal hosty náměstek pražského primátora pro dopravu Mgr. Ing. Jaromír Beránek (obr. 1).

Konference byla zahájena v pondělí 25. května 2026 v 9:00 krátkým videem představujícím vizualizace připravovaných podzemních staveb. V rámci zahájení konference přednesli projevy doc. Ing. Alexandr Butovič, Ph.D., (předseda přípravného výboru konference) a Ing. Ivan Hrdina (předseda CzTA) – obr. 2.

Po zahájení konference byly předneseny následující **úvodní přednášky (Keynote Lectures)**:

- Ing. Radek Mátl (generální ředitel ŘSD, ČR): Připravované a realizované tunely na dálniční síti v ČR – obr. 3
- MSc. Michal Froněk (Správa železnic, ČR): Berounský tunel – kvalitní železniční spojení do západní Evropy
- Ing. Petr Provazník (Správa železnic, ČR): Krušnohorský tunel – klíčová část nového železničního spojení Dresden–Praha
- Dr. Alun Thomas (Dánsko): Optimalizace návrhu pro úsporu uhlíku na nových trasách metra v Kodani

V rámci pondělní obědové pauzy proběhla moderovaná posterová sekce (obr. 4), která představila dynamičtější a interaktivnější způsob prezentace odborných výsledků. Po obědové pauze probíhaly ve dvou sálech ústní prezentace v jednotlivých sekcích. Při jednáních v sekcích bylo předneseno následujících 10 vyzvaných přednášek od renomovaných zahraničních řečníků:

Sekce 1: Konvenčně ražené tunely

- Andrea Pigorini (prezident ITA, Itálie): Italská vysokorychlostní železnice: 1 000 km skrz a pod městy a horami – návrh pro dalších 1 000 km směrem na jih Itálie
- Dr. Angelos Gakis (Rakousko): Mělká konvenční ražba pod provozovanou dálnicí s 21 jízdními pruhy

Sekce 2: Mechanizovaně ražené tunely

- Dr. Vojtech Gall (USA): Návrh a výstavba městských tunelů skrz pilotové základy: případové studie a aplikace – Program Gateway v New Yorku, úsek Manhattan P1B

- Prof. Bai Yun (Čína): A-TBM tunelování v Číně

Sekce 3: Ostatní podzemní stavby, úložiště, rekonstrukce a historie

- Prof. Shahab Yasrebi (Kanada/Irán): Inovativní metoda „Top-Down“ při výstavbě podzemního parkoviště Niayesh a jeho integrace s tunelem Niayesh, Teherán

Sekce 4: Geotechnický průzkum a monitoring

- Prof. Dietmar Adam (Rakousko): Dlouhodobá měření energetických geostrukturní ve stanici metra Taborstraße ve Vídni

Sekce 5: BIM, numerické modelování, výzkum, vývoj a udržitelnost

- Nasri Munfah (USA): Rozvoj podzemního prostoru jako katalyzátor růstu měst

Sekce 6: Vybavení, bezpečnost provozu a údržba

- Prof. Robert Galler (Rakousko): Experimentální výzkum tepelné účinnosti žáruvzdorné omítky pro aplikace v tunelech

Sekce 7: Rizika, smluvní vztahy a financování

- Nasri Munfah (USA): Deset doporučení pro předcházení sporům na vícesmluvních podzemních projektech
- Haldun Kahyaoglu (Španělsko): Pareto efektivita vs. nestrannost a objektivita ve stavebních smlouvách pro tunely

Společenský večer pro všechny registrované účastníky, doprovodné osoby, sponzory a vystavovatele se tradičně uskutečnil v historickém areálu Břevnovského kláštera (obr. 5 a 6) v pondělí 25. května 2026, této recepci se zúčastnilo cca 600 osob. Společenský večer byl zahájen vystoupením klasické hudby v podání sopranistky Karolíny Cingrošové a harfenistky Zbyňky Šolcové (obr. 7). Mimo jiné byla hostům zpřístupněna krypta baziliky sv. Markéty, kterou si mohli prohlédnout za asistence kvalifikovaného průvodce. Velký zájem vzbudil fotokoutek, kde si hosté mohli nechat vytvořit tematické fotografie za pomoci umělé inteligence nebo si pořídit tradiční zábavné snímky s rekvizitami. Své příznivce si získala rovněž cimbálová muzika, jejíž vystoupení probíhalo v suterénu kláštera.

V úterý 26. května 2026 dopoledne se konala **panelová diskuse** (obr. 8) zaměřená na téma „Projektová příprava a výstavba podzemních staveb na vysokorychlostních tratích“. Panelovou



Obr. 4 Presentace u e-totemu v rámci posterové sekce
Fig. 4 Presentation at the e-totem within the poster section



Obr. 5 Společenský večer v prostorách Břevnovského kláštera
Fig. 5 Social evening on the grounds of the Břevnov Monastery

diskusi moderovali Ing. Karel Rössler, Ph.D., a Dr.-Ing. Zdeněk Žižka (oba ČR). V rámci panelové diskuse zazněly následující ústní prezentace diskutujících:

- Andrea Pigorini (prezident ITA, vedoucí projektování infrastruktury, FS Engineering, Itálie): Italská vysokorychlostní železnice: 1 000 km skrz a pod městy a horami – návrh pro dalších 1 000 km směrem na jih Itálie
- Dr. Monika Mitew-Czajewska (Ústav silnic a mostů, Varšavská technická univerzita, Polsko): Tunely vysokorychlostní železniční sítě v Polsku – přehled a výzvy
- Florian Diernhofer (vedoucí týmu pro bezpečnost v tunelech, ILF Consulting Engineers GmbH, Rakousko): Zdokonalené vybavení, provozní bezpečnost a údržba pro železniční tunel Koralm
- Heinz Ehrbar (nezávislý konzultant, Heinz Ehrbar Partner LLC, Švýcarsko): Výběr nejvhodnějšího organizačního modelu pro dlouhé tunely
- Prof. José-Miguel Galera (generální ředitel, SYSTRA Subterra, Španělsko): Geotechnické výzvy při návrhu a výstavbě tunelů vysokorychlostní železnice – případové studie
- Gerhard Harer (vedoucí centrální koordinace BBT, ÖBB-Infrastruktur AG, Rakousko): Aspekty ovlivňující reálnou provozní dostupnost dlouhých železničních tunelů

- Martin Knights (nezávislý konzultant, Martin Knights Consulting Ltd, Velká Británie): Klíčové smluvní prvky projektu UK High Speed 2, fáze 1
- Ing. Jiří Merta (odborný poradce ředitele stavební správy VRT, Správa železnic, ČR): Technická a provozní koncepce vysokorychlostních tratí v ČR
- Raimundo Jose Saiz Perez (vedoucí globálního rozvoje, ACCIONA Construction, Španělsko): Inovativní inženýrská řešení geotechnických a hydrogeologických výzev ve stavebním oddělení 1 tunelů Pajares na trati León – Asturie VRT
- Patrick Senn (seniorní projektový manažer/expert, Amberg Engineering AG, Švýcarsko): Poučení z hlavních alpských



Obr. 6 Tereziánský sál v prostorách Břevnovského kláštera
Fig. 6 The Terezie hall on the grounds of the Břevnov Monastery



Obr. 7 Hudební vystoupení při zahájení společenského večera
Fig. 7 Opening musical performance at the social evening



Obr. 8 Řečníci a moderátoři panelové diskuse
Fig. 8 Speakers and chairs of the open session

železničních tunelů – projektová perspektiva návrhu, rizik a spolupráce

Úterní odpolední program konference zahájil **Andrea Pigorini** z Itálie, **současný prezident mezinárodní tunelářské asociace ITA-AITES** pro období 2025–2028, který prezentoval aktivity této organizace (obr. 9). Následně proběhlo vyhlášení interaktivní hry a soutěže, hlasování probíhalo pomocí konferenční aplikace. Vítězem soutěže o nejlepší poster se stal Ing. Peter Danišovič, PhD., z Žilinské univerzity v Žilině.

Ve středu 27. května 2026 proběhly následující **technické exkurze**:

Exkurze A – Trasa D pražského metra – realizace úseku Pankrác–Olbrachtova (120 osob)

Exkurze B – Hlavní dopravní řídicí ústředna Hlavního města Prahy (40 osob)

Exkurze C – Rudolfova štola + stará čistírna odpadních vod (20 osob)

Exkurze D – Realizace tunelů na D11 a na obchvatu Náchoda (20 osob)

Exkurze E – Ražba průzkumné štoly tunelu Kamenná Vrata na D3 (obr. 10) + historický důl Pepř (20 osob)

Exkurze F – Výstavba kolektoru HG na letišti Václava Havla v Praze (20 osob)

Exkurze G – Úložiště radioaktivních odpadů Richard (16 osob)

Obdobně jako při minulé konferenci bylo účastníkům umožněno stažení **mobilní aplikace do telefonu**, která přinášela řadu důležitých informací. Registrace probíhala samoobslužným systémem pomocí načtení QR kódů, které byly účastníkům zaslány s předstihem. Pro účastníky konference byl zřízen přístup k videonahrávkám prezentací.

S konferencí letos poprvé asistovala organizační agentura AIM Group Prague s.r.o., která navrhla řadu novinek. Poprvé bylo pro **tlumočení** využito řešení založené na platformě **Zoom**, kdy účastníci přijímali zvuk prostřednictvím vlastních mobilních telefonů a sluchátek. Tento model vedl ke snížení nákladů na technické vybavení a současně umožnil zachovat vysoký komfort uživatelů.

Vzhledem k velmi vysokému počtu účastníků byly vybrané přednášky přenášeny také do dvou dalších sálů. Toto řešení pomohlo navýšit kapacitu konference a současně nabídlo klidnější prostředí pro účastníky, kteří si chtěli během programu pořizovat poznámky nebo pracovat. Pro potřeby delegátů byly nově zřízeny samostatné **prostory určené pro individuální práci, neformální schůzky nebo odpočinek** mezi jednotlivými bloky programu. Partnerské společnosti měly k dispozici vyhrazený prostor pro obchodní jednání a soukromé schůzky. Tato služba byla partnery aktivně využívána a přispěla

k posílení obchodního a networkin-
gového rozměru konference.

Účastníci měli možnost zapo-
jit se prostřednictvím konferenč-
ní aplikace do soutěže o hodnotné
ceny (iPad, wellness pobyt a pobyt
v hotelu Clarion). **Interaktivní hra**
byla založena na návštěvě deseti
stanovišť zapojených vystavovatelů,
kde měli za úkol zjistit odpověď na
soutěžní otázku připravenou daným
partnerem. Dle dostupné zpětné
vazby byla hra hodnocena velmi
kladně.

Konferenci podpořilo 5 plati-
nových, 8 zlatých a 24 stříbrných
partnerů, přičemž další společ-



Obr. 9 Andrea Pigorini – prezident mezinárodní tunelářské asociace
ITA-AITES

Fig. 9 Andrea Pigorini – the president of the International Tunnelling
Association ITA-AITES



Obr. 10 Exkurze do průzkumné štoly tunelu Kamenná Vrata na D3
Fig. 10 Tour of the Kamenná Vrata exploratory gallery on the D3

nosti využily některou z menších
partnerských možností nebo si ob-
jednaly samostatný výstavní pro-
stor. Celkem konferenci podpořilo
66 partnerů, což byla dosud **nej-
vyšší podpora v historii konference**.
Součástí výstavy bylo celkem
49 stánků různých velikostí.

Obecně konference proběhla bez
větších obtíží dle předpokládaného
scénáře, přípravný výbor obdržel
řadu kladných ohlasů z České re-
publiky i ze zahraničí. Po konfe-
renci bylo účastníkům umožněno
**vyplnění dotazníku spokojenos-
ti**. Obecně byly dojmy účastníků
z konference velmi pozitivní, vý-
hrady byly spíše drobnější a nebyl
v nich žádný výraznější trend (žád-
né připomínka či doporučení nebyly
uvezeny častěji).

**Touto cestou bych rád podě-
koval** všem účastníkům konfe-
rence, zejména pak všem členům
přípravného výboru a vědecké ra-
dy, autorům příspěvků, řečníkům
a partnerům konference. Těším se,
že se sejdem v obdobném případ-
ně ještě vyšším počtu na konferenci
Podzemní stavby Praha 2029.

za přípravný výbor
a vědeckou radu
prof. Ing. MATOUŠ
HILAR, Ph.D.,
předseda vědecké rady
konference PS 2026

ZPRÁVA Z PRŮBĚHU TUNELÁŘSKÉHO ODPOLEDNE 1/2026 NA TÉMA POŽÁRNÍ BEZPEČNOST TUNELŮ

REPORT ON TUNNELLING AFTERNOON 1/2026 ON THE TOPIC OF FIRE SAFETY IN TUNNELS

On the 25th of March 2026, the traditional tunnelling afternoon took place, this time focused on fire safety in tunnels, the issue of preparing risk analysis, the option of modelling a fire in a tunnel, the execution of government fire oversight, and findings of our colleagues from the fire brigade (HZS) from practice while giving statements regarding design documentation of tunnels and firefighting when an emergency incident occurs. Finding a technically and economically acceptable consensus between the designer and contract owner on one side and HZS representatives on the other often tends to be difficult; it makes obtaining a positive statement to the proposed documentation complex and thereby even complicates deadlines of its preparation. The issue of securing fire safety in tunnels was heard previously at the tunnelling afternoon back in 2009. Back then, other speakers apart from lecturers from the Czech Republic made an appearance,

such as the fire counsellor of the city of Vienna, Peter Frank, who spoke about securing fire safety in Austrian railway tunnels, or Urs J. Weder from Switzerland, whose professional specialisation is fire trains designated for an intervention inside railway tunnels. The programme of the tunnelling afternoon this year was put together exclusively from lectures of Czech experts, although it was very varied topic-wise. The lecturers of the tunnelling afternoon this year represented not only the academic sphere, but also the area of prevention and repression.

Dne 25. března 2026 se konalo tradiční tunelářské odpoledne, tentokrát zaměřené na požární bezpečnost tunelů, problematiku zpracování rizikové analýzy, možnosti modelování požáru v tunelu, výkon státního požárního dozoru a poznatky kolegů z hasičského záchranného sboru (HZS) z praxe při vyjadřování k projektové

dokumentaci tunelů i provádění požárního zásahu při vzniku mimořádné události.

Nalezení technicky i ekonomicky přijatelného konsenzu mezi projektantem a investorem na jedné straně a zástupci HZS na straně druhé bývá mnohdy složité, komplikuje získání kladného stanoviska k předkládané dokumentaci, a tím i termíny jejího zpracování. Problematika zajištění požární bezpečnosti v tunelech na tunelářském odpoledni zazněla naposledy v roce 2009, tj. před více než čtvrt stoletím. Tehdy na něm kromě přednášejících z České republiky vystoupil např. požární rada města Vídně Peter Frank, který hovořil o zajištění požární bezpečnosti železničních tunelů v Rakousku, nebo Urs J. Weder ze Švýcarska, jehož profesní specializací jsou požární vlaky určené pro zásah v železničních tunelech. Program letošního Tunelářského odpoledne byl sestaven výlučně z přednášek českých odborníků, tematicky byl však velmi pestrý. Přednášející letošního Tunelářského odpoledne zastupovali jak akademickou sféru, tak oblast prevence i represe.

S první přednáškou na téma „Role HZS – skutečnost a očekávání“ vystoupil ředitel odboru prevence pan plk. Ing. Michal Valouch z generálního ředitelství HZS ČR. Zaměřil se na výkon státního požárního dozoru z hlediska právního rámce, role DESu jako speciálního stavebního úřadu, pozice AsBo (Assessment Body) při posuzování procesu řízení rizik nebo na problematiku kvality předpisové základny v České republice a dopadů tohoto stavu na splnění požadavků na zajištění požární bezpečnosti v tunelech. Ve své přednášce zmínil i vznikající dokument, který by měl unifikovat přístup ke zpracování Požárně bezpečnostního řešení stavby tunelů na vysokorychlostních tratích.

Tuto přednášku velmi podrobně doplnila paní kpt. Ing. Andrea Lichtenbergová rovněž z generálního ředitelství HZS ČR, která se na odboru prevence věnuje přímé legislativně-technické a metodické agendě. Její přednáška s názvem „České a evropské právní předpisy a normy, trendy a možnosti změn“ poskytla ucelený přehled o státních orgánech a organizacích i profesních organizacích, které jsou problematikou zajištění požární bezpečnosti tunelů dotčeny. V další části přednášky se již věnovala konkrétním českým i evropským předpisům, které definují požadavky na zajištění bezpečnosti v tunelech. V závěru přednášky se zaměřila na požadavky evropského předpisu Nařízení Komise (EU) č. 1303/2014 o technické specifikaci pro interoperabilitu týkající se „bezpečnosti v železničních tunelech“ železničního systému Evropské unie (TSI SRT), výkladu některých jeho pasáží a problematice evakuace osob v případě požáru v tunelu. Okrajově byly zmíněny i důvody vydávání nesouhlasných stanovisek k technickému řešení projektové dokumentace tunelů a zásady požární bezpečnosti a požárního zásahu pro projektování tunelů na vysokorychlostních tratích. Jedná se o předpis, který je velmi diskutovaný, a jeho vznik a zejména odsouhlasení vzbuzuje velká očekávání i obavy.

Přednáška pana Ing. Ivana Vukušiče, Ph.D., z Výzkumného ústavu železničního si kladla za cíl objasnit účastníkům Tunelářského odpoledne problematiku analýzy rizik, pojem „společná bezpečnostní metoda (CSM)“ jednotného evropského postupu pro hodnocení a řízení rizik, jaké jsou úkoly jednotlivých subjektů při hodnocení rizik, dále problematiku identifikace nebezpečí, řešení komplexních rizikových scénářů a zbytkového, společensky únosného rizika. Z přednášky vyplývá, že usměrnění rizika není závislé pouze na přijatých stavebně technických opatřeních na straně konstrukčního řešení tunelů, ale i na stanovení provozních pravidel, používání odpovídajících vozidel, zajištění údržby atd.

Poslední přednášku ze spíše legislativního a teoretického bloku před přestávkou věnoval pan doc. Ing. Petr Kučera, Ph.D., z Fakulty bezpečnostního inženýrství VŠB TU Ostrava problematice modelování požáru v tunelových stavbách. Podrobněji se zaměřil na dva základní typy požárních modelů. Zónové modely, které tunel rozděluje na úseky, v nichž počítají průměrnou teplotu, vrstvu kouře a koncentraci plynů, a CFD modely (Computational Fluid Dynamics), které simulují šíření kouře pomocí trojrozměrné výpočetní sítě. Část přednášky byla věnována zajištění relevantních vstupních parametrů pro matematické modely (podmínky vzniku požáru, jeho tepelný výkon v uzavřeném prostoru, vliv větrání a klimatických podmínek před portály, šíření toxických zplodin atd.), vlastnímu zpracování požárního scénáře a ukázkám vyhodnocení pomocí 2D/3D vizualizace, pomocí tabulek nebo grafů. Velmi zajímavé byly komentáře ke konkrétním případovým studiím pro dálniční ražený tunel Klimkovic s klenbovou konstrukcí ostění, model šíření kouře v silničním tunelu s obdélníkovou rámovou konstrukcí ostění a příklad řešení terminálu podzemní vlakové stanice. Přestávka byla jako vždy věnována neformálním diskusím.

Téma první přednášky po přestávce, kterou si připravila paní kpt. Bc. Tereza Ripperová z HZS Jihočeského kraje, bylo zajímavé hlavně pro projektanty tunelů, šlo o „Hlavní problémy bránící vydání kladného stanoviska“. Obecné důvody byly dokumentovány na příkladech konkrétních tunelů a týkaly se především nejednotnosti předložené dokumentace, nedostatečného vyhodnocení řešení problematiky z hlediska dělení do požárních úseků, definování požadavků na požární odolnost stavebních konstrukcí, zajištění radiokomunikace při zásahu, dostatečného vybavení stavby požárně bezpečnostním zařízením apod. K neméně závažným důvodům patří i nemožnost ověření v projektu tvrzených skutečností.

První přednáška mj. Ing. Lukáše Fouska z HZS Středočeského kraje se týkala konkrétního stavu příjezdových komunikací k tunelovým portálům a nástupních ploch tunelů na IV. železničním koridoru. Přednáška byla doplněna celou řadou fotografií, které dokumentují špatný stav povrchu komunikací i nástupních ploch, jejich nedostatečnou údržbu, mnohdy po více než 10 letech od uvedení do provozu. Na základě vyhodnocení problémů s dostupností portálů pro techniku byly na novějších tunelech provedeny úpravy, které vedly ke zlepšení situace. Z fotografií bylo také zřejmé, že v některých případech nepříznivé konfigurace terénu je velmi obtížné zajistit ideální podmínky pro přístupové komunikace i nástupní plochy a je třeba hledat řešení např. částečným zapanelováním šterkového lože nebo jeho zpevnění pomocí prskyřice. Ve druhé přednášce se autor zaměřil na konstrukční řešení, požadavky požární bezpečnosti a podmínky pro provedení požárního zásahu na projektovaných ražených i hloubených tunelech na dálnici D3. Předmětem komentářů k technickému řešení byly opět příjezdové komunikace a sdružené plochy pro IZS i údržbu tunelů, ale i problematika zásobování požární vodou, dojezdu jednotek požární ochrany, rozsahu bezpečnostní dokumentace nebo požárně bezpečnostního řešení. Koordinací projekčních prací bylo dosaženo jednotného technického řešení tunelů i provozně technologických objektů. Přednáška poskytla komplexní přehled o všech plánovaných tunelech na této významné dálnici.

Další přednáška, kterou si připravil mj. Ing. Jan Ondruch z generálního ředitelství HZS ČR, rozšířila portfolio řešených témat o „Podmínky pro provádění zásahu v dálničních a železničních tunelech“. V rámci přednášky byly definovány specifické podmínky

požáru v tunelových stavbách, ke kterým patří malá viditelnost spojená se silným zakouřením, stísněný prostor, překonávání velkých vzdáleností, komplikované zajištění komunikace mezi zasahujícími, vysoká teplota a u železničních tunelů i trakční vedení. Přítomní byli seznámeni se standardní výbavou požárního auta, rozměry požární techniky, pro kterou je nutné zajistit odpovídající parametry příjezdových komunikací i nástupních ploch. Váha výbavy hasiče při zásahu se pohybuje kolem 50 kg, což vyžaduje fyzickou zdatnost. Vybavení omezuje dobu ochrany při zásahu na cca 40 minut. Přednáška poskytla účastníkům zajímavé informace, se kterými se běžně nesetkávají a které vedou k lepšímu pochopení požadavků na vytvoření podmínek pro požární zásah.

Poslední přednáškou, kterou si připravil por. Mgr. Jan Havrda z pražského HZS, se účastníci přenesli do řešení konkrétní mimořádné události požáru kamionu v Lochkovském tunelu. Na tomto případu byl ukázán časový snímek zásahu od jeho ohlášení až po dokončení, popis nákladu kamionu i příčina zahoření, konkrétní

vybavení zasahujících jednotek, rozhodovací proces velitele zásahu i okrajové podmínky v tunelové troubě, na které bylo nutné při zásahu reagovat. V závěru přednášky byla vyhodnocena pozitiva a negativa zásahu.

Všem přednášejícím patří velký dík za precizní přípravu přednášek i zájem o problematiku tunelů. Tunelářského odpoledne se osobně účastnilo 54 osob, online je sledovalo 79 účastníků, což svědčí o atraktivitě zvoleného tématu pro naši tunelářskou veřejnost. Vzhledem k množství přednášek byl prostor na diskusi omezený, ale věříme, že Tunelářské odpoledne splnilo svůj účel na propojení dvou odlišných profesí, jejichž vzájemné porozumění je jedinou cestou k nalezení kompromisního řešení, které nebude na úkor zajištění bezpečnosti, ani zbytečného navyšování investičních nákladů. Organizačně průběh technické části odpoledne zajišťoval Ing. Libor Mařík z firmy SAGASTA s.r.o.

Ing. LIBOR MAŘÍK, SAGASTA s.r.o.

PRAŽSKÉ GEOTECHNICKÉ DNY 2026 – GEOTECHNICKÉ PORUCHY JAKO ZDROJ POUČENÍ PRO BEZPEČNĚJŠÍ STAVBY

PRAGUE GEOTECHNICAL DAYS 2026 – GEOTECHNICAL FAILURES AS A SOURCE OF LESSONS FOR SAFER CONSTRUCTION

The thirty-second year of the Prague Geotechnical Days 2026 conference was dedicated to the topic of geotechnical failures and accidents. Experts from universities, research institutions, and even design practice presented examples of failures of geotechnical structures around the world and discussed their causes, implications, and options for prevention. A part of the two-day gathering of experts in geotechnics and underground construction was also the ceremonial awarding of the Quido Záruba award.

Dvaatřicátý ročník mezinárodní konference Pražské geotechnické dny 2026 byl věnován tématu geotechnických poruch a havárií. Odborníci z univerzit, výzkumných institucí i projekční praxe představili příklady selhání geotechnických konstrukcí z celého světa a diskutovali jejich příčiny, důsledky i možnosti prevence. Součástí dvoudenního setkání odborníků v geotechnice a podzemním stavitelství bylo i tradiční slavnostní předání ceny akademika Quido Záruby.

Rostoucí rozsah podzemních staveb, výstavba v komplikovaných geologických podmínkách i projevy klimatických změn zvyšují nároky na správný geotechnický návrh, monitoring a řízení rizik. Jak zaznělo napříč přednáškami, většina geotechnických havárií nevzniká v důsledku jediné chyby, ale kombinací nepříznivých okolností, nedostatečných informací a případným podceněním rizik.

Geotechnické poruchy a havárie pohledem mezinárodních expertů

Profesor Christian Moormann z Universität Stuttgart otevřel konferenci analýzou kolapsu hluboké stavební jámy v prostředí ovlivněném podzemní vodou a zdůraznil význam systematického řízení geotechnických rizik při podzemní výstavbě. Na zkušenosti z českých tunelových staveb navázal profesor Matouš Hilar z ČVUT a společnosti 3G Consulting Engineers. Ve své přednášce shrnul poznatky získané při řešení poruch a neočekávaných situací během ražeb českých tunelů, mimo jiné na železničních tunelech Březno a Jablunkov a na tunelovém komplexu Blanka.

Dr. Mandy Korff z TU Delft a Deltares představila příklady poruch nábrežních a opěrných zdí v Nizozemsku. Ukázala, že stárnutí konstrukcí, nedostatek historických informací a vlivy podzemní vody vyžadují stále sofistikovanější monitorovací a diagnostické metody. Problematice zemětřesením vyvolané ztráty pevnosti zemin se věnovala Dr. Stavroula Kontoe z University of Patras, která prezentovala zkušenosti z případových studií ztucení zemin a jejich dopadů na infrastrukturu.

Profesor Ioannis Anastasopoulos z ETH Zürich se zaměřil na poruchy pobřežních ochranných staveb během tsunami a na poškození mostních konstrukcí v důsledku hloubkové eroze při povodních. Dr. Luca Piciullo z NGI Norway představil statistické vyhodnocení historických havárií odkališť a mechanismy, které k těmto závažným událostem vedou. Téma postupného rozvoje poruch pak uzavřel profesor Federico Agliardi z University of Milano-Bicocca, který prezentoval výsledky monitoringu a numerického modelování rozsáhlých alpských skalních svahů postižených pomalými deformacemi.



Obr. 1 Cena akademika Quido Záruby pro mladé inženýrské geology a geotechniky

Fig. 1 Quido Záruba Award for young engineering geologists and geotechnical engineers



Obr. 2 Ocenění v kategorii praktické aplikace – Mgr. Petr Stöhr
Fig. 2 Award in the category of practical application – Mgr. Petr Stöhr



Obr. 3 Přednáška profesora Alexandra Puzrina z ETH Zürich
Fig. 3 Lecture by professor Alexander Puzrin of ETH Zürich

Cena akademika Quido Záruby

Každoroční součástí konference je slavnostní udělení Ceny akademika Quido Záruby pro mladé inženýrské geology a geotechniky (obr. 1). V letošním ročníku byla cena udělena ve dvou

kategoriích, za vědu a výzkum a za praktické aplikace. Mgr. Bianca Georgina Severini byla oceněna za práci *Opakovatelnost a reprodukovatelnost vybraných laboratorních zkoušek mechaniky zemin* v kategorii věda a výzkum. V kategorii praktické aplikace byl oceněn Mgr. Petr Stöhr za práci *I/27 Žiželice obchvat a přemostění – doplňkový geotechnický průzkum* (obr. 2).

32. Pražská geotechnická přednáška a odborný workshop

Završením prvního dne byla 32. Pražská geotechnická přednáška profesora Alexandra Puzrina z ETH Zürich (obr. 3). Ve své přednášce *Progresivní porušování v zeminách, sněhu a odkalištích – případové studie a analytická řešení* ukázal, že mnoho katastrofických geotechnických událostí může vznikat dlouhodobým rozvojem lokálních poruch, které mohou být při vhodném monitoringu rozpoznány již v raných fázích. Poreferoval také o možnostech opožděného vlivu zemětřesení nebo extrémních povětrnostních podmínek na aktivaci lavin v podmínkách svahů, které mohou nastat i mimo typická pásma lavinových nebezpečí.

Na tuto problematiku navázal druhý den odborný workshop zaměřený na geomechaniku poruch. Na příkladech kolapsů vybraných konstrukcí z celého světa představil mechanismy jejich vzniku i vliv nerovnoměrného sedání, poklesů nebo regionální subsidence.

Detailní monitoring, kvalitní geotechnický průzkum a využití moderních numerických modelů dnes představují klíčové nástroje pro včasnou identifikaci rizik. Rovněž analýza minulých havárií zůstává nenahraditelným zdrojem poznatků pro bezpečnější návrh budoucích staveb. Geotechnické poruchy tak nebyly prezentovány pouze jako kolaps či selhání, ale především jako cenná příležitost k získávání zkušeností a dalšímu rozvoji oboru.

Mgr. ŠÁRKA DVOŘÁKOVÁ,
Mgr. KLÁRA LA TORRE,
SG Geotechnika a.s.

PRVNÍ ROČNÍK KONFERENCE GEOTECHNIKA A MODELOVÁNÍ FIRST YEAR OF THE GEOTECHNICS AND MODELLING CONFERENCE

On the 3rd of June in Brno, the IDEA StatiCa company organised the first year of the Geotechnics and Modelling conference. The conference programme was focused on practical uses of the finite element method for simulating tasks in the field of geotechnics and underground construction. The event was attended by around 100 listeners.

Dne 3. června 2026 uspořádala v Brně firma IDEA StatiCa 1. ročník konference Geotechnika a modelování. Program konference byl zaměřen na praktické využití metody konečných prvků při simulaci úloh z oblasti geotechniky a podzemního stavitelství. Přednášejícími byli zástupci VUT Brno, VŠB – Technické univerzity Ostrava, Žilinské univerzity v Žilině a dále firem GEOSTAR spol. s r.o., METROPROJEKT Praha a.s. a V-CON s.r.o.

Jednotlivé přednáškové bloky byly zaměřeny na problematiku úrovně geotechnických průzkumů ve vztahu k matematickému modelování geotechnických úloh, na volbu materiálových modelů v numerických simulacích, nejčastější chyby při numerickém modelování, možnosti a výhody simulací napětodeformačního a stabilitního stavu svahových těles, zkušenosti s využitím software MIDAS GTS NX při projektování trasy metra D, pažené stavební jámy a 3D numerickou analýzu základů vystavených dynamickému zatížení. Na závěr konference proběhla přínosná diskuse k předneseným příspěvkům i tématům s nimi souvisejícím. Všechny cca 100 účastníků hodnotilo přínos této odborné akce velmi kladně.

doc. RNDr. EVA HRUBEŠOVÁ, Ph.D.

ROBOTIKA V PODZEMÍ 2026 ROBOTICS IN UNDERGROUND 2026

On the 11th of June 2026, the third year of the Robotics in Underground – Innovation Day workshop took place on the premises of the Josef Underground Laboratory at the Slapy reservoir (www.stolajosef.cz). The workshop was organised by the Faculty of Civil Engineering and the National Centre for Civil Engineering 4.0 of the Czech Technical University in Prague in cooperation with industry and academic partners. A unique set of technological demonstrations was presented, focused on robotics, automation, and digitalisation of underground construction. Visitors familiarised with cutting-edge autonomous systems of the future, tested in real conditions of the Josef Underground Laboratory, which is run by the Centre of Experimental Geotechnics of the Faculty of Civil Engineering CTU in Prague. The event was attended by hundreds of experts from different institutions. As part of the workshop, a university student science conference took place, focused on the topic of underground structures and robotics, as well as a high school competition called “Robotics in the Open”. The patronage of the event was assumed by the Central Bohemian Region and the Czech Ministry of Industry and Trade.



Obr. 1 Jedna z možností automatizovaného monitoringu – využití tzv. robopsů
Fig. 1 One of the possibilities of automated monitoring – the usage of so called robodogs

Třetí ročník workshopu Robotika v podzemí – Innovation Day proběhl 11. 6. 2026 v areálu Podzemní laboratoře Josef u Slapské přehrady (www.stolajosef.cz). Workshop organizovala Fakulta stavební a Národní centrum stavebnictví 4.0 Českého vysokého učení technického v Praze ve spolupráci s průmyslovými a akademickými partnery. Byl představen unikátní soubor technologických demonstrací zaměřených na robotiku, automatizaci a digitalizaci podzemních staveb (obr. 1, 2).

Návštěvníci se seznámili se špičkovými autonomními systémy budoucnosti testovanými v reálných podmínkách Podzemní laboratoře Josef, kterou provozuje Centrum experimentální geotechniky Fakulty stavební ČVUT v Praze. Akce se účastnily stovky odborníků z různých institucí.

V rámci workshopu proběhla také vysokoškolská studentská vědecká konference zaměřená na téma pozemních a podzemních staveb a robotiky a rovněž středoškolská soutěž „Robotika naostro“. Záštitu nad akcí převzaly Středočeský kraj a Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky.

Na Českém vysokém učení technickém v Praze probíhá výzkum v oblasti robotiky již několik let. Ve spolupráci s Podzemní laboratoří Josef se výzkum a vývoj zaměřují nejen na robotizaci zděnění, vývoj a testování robotizované zdicí jednotky, ale také na další oblasti, mezi něž patří využití robotických systémů v podzemním prostředí.

Robotika v podzemí představuje z pohledu budoucího rozvoje široké spektrum možností využití, například při manipulaci s nebezpečnými materiály, výstavbě specifických konstrukcí, diagnostice stavebních objektů či vyhledávání osob během mimořádných událostí. Mezi její hlavní přínosy patří vysoká přesnost a kvalita prováděných činností, zvýšení produktivity práce, vyšší úroveň bezpečnosti, omezení chybovosti a efektivní dokumentace a monitoring procesů.

Podzemní laboratoř Josef jako externí pracoviště Fakulty stavební ČVUT proto představuje ideální prostor pro testování robotů a robotických technologií v reálném prostředí. Cílem akce zůstává, stejně jako v předchozích ročnících, představit aktuální projekty řešené na ČVUT v Praze i v dalších institucích. V průběhu akce byly prezentovány současné možnosti a potenciál robotických a automatizačních technologií. Konkrétně byly prezentovány např. teleoperace (dálkové řízení) stroje v podzemí, autonomní nakladač, autonomní dronové systémy pro monitoring či univerzitní projekt JULBOT, který propojuje různé činnosti související s podzemními stavbami.

Jedním z cílů bylo inspirovat odbornou i širší veřejnost k další spolupráci, která nepochybně povede k většímu využívání automatizace, robotiky a chytré infrastruktury v praxi.

Je nezbytné, aby se obdobné projekty realizovaly i na území České republiky, a zároveň je velmi vhodné, aby do nich byli zapojováni studenti – tak, jako tomu bylo i při této akci.

Ing. JIŘÍ ŠTÁSTKA, Ph.D.,
vedoucí Centra experimentální
geotechniky



Obr. 2 Ukázka možnosti využití robotické ruky od společnosti Kuka ve specializovaných podzemních stavbách
Fig. 2 A showcase of possible uses of a robotic arm from the Kuka company in specialised underground constructions

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

ČESKÁ REPUBLIKA

METRO D – NOVÁ LINKA PRAŽSKÉHO METRA

Již tradiční rubriku Aktualit s informacemi z probíhající stavby metra D dnes snad ani nelze zahájit jinou novinkou, než že se občané naší metropole ale i celé ČR dne 19. 6. 2026 konečně dočkali Slavnostního zahájení výstavby další etapy této stavby. Za účasti vedoucích zástupců vedení hl. m. Prahy, úřadů městských částí, Dopravního podniku hl. m. Prahy, projektanta, dodavatele geomonitoringu i zhotovitele byl symbolickým poklepáním na budoucí součást obložení stanice Nové Dvory zahájen nový úsek stavby Olbrachtova (mimo) – Nové Dvory včetně traťových tunelů směrem z Písnice (obr. 1, 2, 3).

Celá nově zahájená etapa představuje realizaci traťového úseku ze stanice Olbrachtova na stanici Nádraží Krč v délce cca 0,9 km,

THE CZECH REPUBLIC

METRO D – NEW LINE OF THE PRAGUE METRO

The traditional news column with information about the ongoing metro D construction can not start today with anything other than the fact that on 19/06/2026, citizens of our capital and of the entire Czech Republic have finally lived to see the ceremonial construction commencement of another phase of this structure. With leading representatives of the capital city of Prague, municipal district offices, Prague Public Transit Company, designer, geo monitoring contractors, and implementation contractors all present, the new construction section Olbrachtova (outer) – Nové Dvory, including track tunnels in the direction from Písnice, was symbolically launched by tapping a piece of future cladding of the Nové Dvory station (Figs. 1, 2, 3).

The entire newly launched phase represents the implementation of a track section from the Olbrachtova station to the Nádraží Krč station at a length of ca. 0.9km, an atypical station Nádraží Krč that is located on the surface and partly on a bridge structure, then a ca. 1km long track section towards the Nemocnice Krč cut-and-cover station, then a tunnel section with a length of ca. 1.2km to the Nové Dvory station, an excavated station Nové Dvory with a siding tunnel, and a last tunnel section towards the future Depo Písnice at a length of ca. 3.8km.



Obr. 1 Momentka ze slavnostního zahájení – poklepání

Fig. 1 Snapshot from the ceremonial commencement – tapping

atypickou stanicí Nádraží Krč umístěnou na povrchu a z části na mostní konstrukci, dále traťový úsek s délkou cca 1 km ke stanici Nemocnice Krč, hloubenou stanicí Nemocnice Krč, dále tunelový úsek s délkou cca 1,2 km do stanice Nové Dvory, raženou stanicí Nové Dvory s odstavným tunelem a poslední tunelový úsek k budoucímu Depu Písnice v délce cca 3,8 km.

Vybraným zhotovitelem této zahájené části stavby je seskupení několika stavebních společností se společným názvem „Sdružení Metro I.D druhá část“, jejichž vedoucím účastníkem je společnost Subterra a.s. a dalšími společníky jsou Hochtief CZ a.s., Hochtief Infrastructure GmbH a BeMo Tunneling GmbH. Dle plánovaného



Obr. 2 Momentka ze slavnostního zahájení – vystavená technika

Fig. 2 Snapshot from the ceremonial commencement – machinery on display

harmonogramu stavby a pokud nenastanou žádné neočekávané komplikace, by se mohli cestující svést celým úsekem z Pankráce až na Nové Dvory již koncem roku 2032. Na zbývajících zatím dosud v trase nerealizované stanice Libuš, Písnice a Depo Písnice objednatel Dopravní podnik hl. m. Prahy již připravuje výběrová řízení na jejich zhotovitele.

Přes tyto radostné zprávy však nesmíme zapomínat ani na informace o probíhající stavební činnosti prvního úseku Pankrác–Olbrachtova, kde již došlo k úplnému dokončení všech ražeb. Dále zde tak postupují práce na definitivních ostěních, betonových konstrukcích, podkladových betonech pro kolejový svršek a na dalších souvisejících částech stavby (obr. 4, 5).

Mimo samotnou realizaci probíhá dále také příprava zbývajících částí trasy I.D3, kde je těsně



Obr. 3 Pohled na přípravu území staveniště Nové Dvory

Fig. 3 A view of land preparation for the Nové Dvory construction site



Obr. 4 Definitivní ostění eskalátorového tunelu stanice Olbrachtova

Fig. 4 Definitive lining of the Olbrachtova station escalator tunnel

před dokončením příprava projektové dokumentace pro následné legislativní projednání severního úseku ze stanice Pankrác směrem k Náměstí Míru.

Závěrem po doslova náloži dobrých zpráv nezbyvá než jen popřát všem účastníkům výstavby obou etap metra I.D hodně štěstí a stavařského zdraru, aby plánovaný termín dokončení a stanovený harmonogramem stavby byly fyzicky naplněny zprovozněním nové linky pražského metra i s cestujícími, a proto a zato – Zdař Bůh!

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

The selected contractor of this launched construction section is a group of many construction companies with a collective name “Sdružení Metro I.D druhá část“, whose leading member is the Subterra a.s. company, and other members are Hochtief CZ a.s., Hochtief Infrastructure GmbH, and BeMo Tunnelling GmbH. According to the planned construction schedule, and if no unexpected complications occur, passengers could ride the entire section from Pankrác to Nové Dvory already by the end of 2032. For the remaining stations, up to now not implemented within the route, specifically Libuš, Písnice, and Depo Písnice, the contract owner, Prague Public Transit Company, is already preparing competitive tendering for their contractor.



Obr. 5 Pohled do vyražené stanice Pankrác D

Fig. 5 A look into the excavated Pankrác D station

TUNEL DOLNÍ RADECHOVÁ

Tunel Dolní Radechová je realizován v rámci stavby I/33 Náchod – obchvat. Objednatel je ŘSD s.p., zhotovitelem tunelu jsou Martí a.s. a EUROVIA CZ, a.s. Projektantem RDS jsou společnosti SATRA spol. s r.o. a 4roads s.r.o. Tunel Dolní Radechová je 363 m dlouhý obousměrný silniční tunel, který má dva ražené úseky a tři hloubené úseky. Střední úsek tunelu přechází přes příčné údolí, a proto je z důvodu nízkého nadloží tunel realizován v otevřené stavební jámě.

V době zpracování tohoto příspěvku uplynulo přibližně osm měsíců (16. 10. 2025) od zahájení ražby tunelu. V současnosti je tunel proražen v celé své délce a probíhají již realizační práce na definitivním ostění tunelu. V rámci přípravy realizační dokumentace je řešena zejména problematika portálových částí, především na definitivním portálu Dolní Radechová.

V ražených částech tunelu jsou zrealizovány základové pasy, boční tunelová drenáž vč. čisticích šachet, téměř je dokončena také deštníková hydroizolace tunelu. Pokračuje se ve válání výztuže kleneb (obr. 6) a betonážích bloků horní klenby

Despite this cheerful news, we can not forget information about the ongoing construction activities on the first section, Pankrác – Olbrachtova, where all excavations have been completed entirely. Work that is moving ahead here includes definitive lining, concrete structures, blinding concrete for trackwork, and other related sections of the construction (Figs. 4, 5).

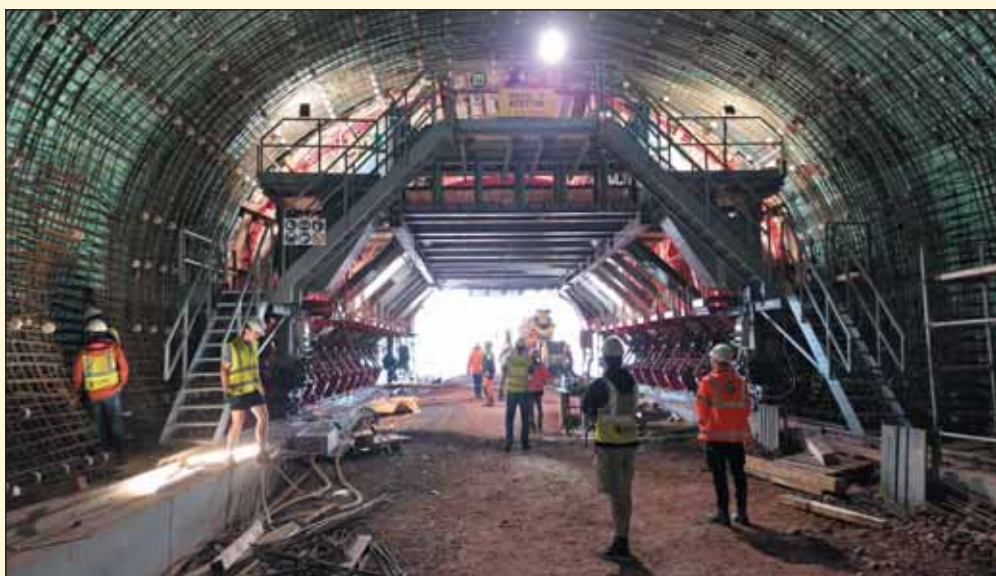
Besides implementation itself, the preparation of the remaining route section I.D3 is ongoing, where the design documentation for further legislative hearings regarding the northern section from the Pankrác station towards Náměstí Míru is close to being completed.

To conclude after literally a load of good news, all that is left is to wish all participants of the construction of both metro I.D phases good luck, construction success, and for the planned completion deadline and defined construction schedule to be physically fulfilled by putting the new line of the Prague metro in operation, even with passengers. And on that note – Godspeed!

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



Obr. 6 Montážní plošina výztuže horní klenby, tunel Radechová
Fig. 6 Assembly platform for upper vault rebar, the Radechová tunnel



Obr. 7 Bednicí vůz horní klenby, tunel Radechová
Fig. 7 Formwork traveller for the upper vault, the Radechová tunnel

THE DOLNÍ RADECHOVÁ TUNNEL

The Dolní Radechová tunnel is being implemented within the “I/33 Náchod – obchvat” structure. The contract owner is ŘSD s.p., the contractor of the tunnel is Martí a.s., and EUROVIA CZ, a.s. The designers of the implementation documentation are companies SATRA spol. s r.o. and 4roads s.r.o. The Dolní Radechová tunnel is a 363m long two-way road tunnel that has two excavated sections and three cut-and-cover sections. The middle section of the tunnel crosses a transverse valley, and the tunnel here is implemented in an open construction pit due to low overburden height.

At the time of preparing this article, approximately eight months have passed (16/10/2025) since the start of tunnel excavation. Currently, the tunnel is broken through in its entire length, and only implementation work on definitive lining of the tunnel is being done. As part of implementation documentation preparation, mainly the issue of portal sections is being addressed, primarily at the Dolní Radechová definitive portal.

Strip foundation has been implemented in the excavated section, along with lateral tunnel drainage incl. cleaning shafts, and the umbrella-type tunnel waterproofing is almost complete.

definitivního ostění (obr. 7). V polovině června 2026 bylo provedeno zalití poslední vrstvy popílkobetonu za falešným primárním ostěním ve střední stavební jámě, čímž byla ukončena jedna z klíčových etap pro realizaci hloubeného tunelu v jeho střední části.

*Ing. PAVEL BUREŠ,
pavel.bures@satra.cz,
SATRA spol. s r.o.*

TUNEL OPEVNĚNÍ

V rámci realizace dálničního projektu D11 1109 Trutnov – Státní hranice ČR/PL dynamicky postupují stavební práce na tunelu Opevnění i Poříčí. Klíčovým milníkem aktuálního období je blížící se prorážka levé tunelové trouby (LTT) tunelu Opevnění (obr. 8 až 10), kde k 22. červnu 2026 zbývá do dokončení ražeb přibližně 50 metrů z celkové projektované délky 444 metrů. V pravé tunelové troubě (PTT) bylo k témuž datu úspěšně vyraženo 320 metrů včetně tunelové propojky.

Paralelně s cyklickou ražbou se v LTT rozběhly i navazující technologické etapy. Ty zahrnují především betonáž základových pasů, pokládku podélných drenáží, profilaci výrubu a následnou systematickou instalaci hydroizolačního souvrství.

The assembly of rebar in the vault (Fig. 6) and the concreting of secondary lining vault blocks (Fig. 7) are ongoing. Halfway through June 2026, the filling of the last layer of fly ash concrete behind the false primary lining in the middle construction pit was carried out, which terminated one of the key stages for cut-and-cover tunnel implementation in the middle section of the tunnel.

*Ing. PAVEL BUREŠ,
pavel.bures@satra.cz,
SATRA spol. s r.o.*

THE OPEVNĚNÍ TUNNEL

As part of the implementation of a motorway project called “D11 1109 Trutnov – Státní hranice ČR/PL”, work on the Opevnění and Poříčí tunnel is ongoing dynamically. A key milestone of the present time is the approaching breakthrough of the left tunnel tube (LTT) of the Opevnění tunnel (Figs. 8 to 10), where only approximately 50 metres of the entire designed length of 444 metres remain until completing excavations as of 22nd of June 2026. On the same day, in the right tunnel tube (RTT), a total of 320 metres and the cross passage were successfully excavated.

Parallel with the cyclical excavation in the LTT, even subsequent technological stages got underway. Those include mainly the



Obr. 8 Jižní portál tunelu Opevnění
Fig. 8 Southern portal of the Opevnění tunnel

foto: Ing. Michal Sklenář, msklenar@subterra.cz photo: Ing. Michal Sklenář, msklenar@subterra.cz



foto: Ing. Michal Sklenář, msklenar@subterra.cz photo: Ing. Michal Sklenář, msklenar@subterra.cz

Obr. 9 Ústí propojky v levé tunelové trubě, tunel Opevnění

Fig. 9 Adit of the cross passage in the left tunnel tube, the Opevnění tunnel



foto: Ing. Michal Sklenář, msklenar@subterra.cz photo: Ing. Michal Sklenář, msklenar@subterra.cz

Obr. 10 Umístování rozbušek v levé tunelové trubě tunelu Opevnění

Fig. 10 Placing detonators in the left tunnel tube in the Opevnění tunnel

V rámci provádění definitivních konstrukcí byla úspěšně vybetonována první klenba sekundárního ostění. V navazujících hloubených úsecích tunelu Opevnění v současnosti intenzivně probíhá armování první horní klenby.

Souběžně s hlavními pracemi v podzemí na objektu Opevnění se stavební kapacity soustředí rovněž na odtěžování a komplexní zajišťování stavební jámy jižního portálu tunelu Poříčí. Tento postup je koordinován s cílem plynulého transferu veškerých razičských kapacit a mechanizace na tunel Poříčí bezprostředně po dokončení ražeb na tunelu Opevnění.

Ing. JAN FALTÝNEK, Ph.D., MBA, FEng.,
jfaltynnek@subterra.cz, Subterra a.s. – divize 1

concreting of strip foundations, laying of lateral drainage, profiling of the excavation, and subsequent systematic installation of waterproofing layers.

The first vault of the secondary lining was successfully concreted as part of the implementation of definitive structures. Intense rebar assembly in the first upper vault is ongoing in the following cut-and-cover sections of the Opevnění tunnel.

Concurrently with the main work underground on the Opevnění structure, construction personnel are also focused on the excavation and complex securing of the construction pit of the southern Poříčí tunnel portal. This process is coordinated with the goal of smoothly transferring all excavation personnel and machinery to the Poříčí tunnel right after completing excavation of the Opevnění tunnel.

Ing. JAN FALTÝNEK,
Ph.D., MBA, FEng.,
jfaltynnek@subterra.cz,
Subterra a.s. – divize 1

TUNNELS ON THE D0 511 CONSTRUCTION

Two cut-and-cover tunnels are located on the currently under-construction structure of the Prague D0 511 ring road, section D1 – Běchovice, specifically the Dubeč tunnel and the Na Vysoké tunnel. The contract owner is ŘSD s.p., the contractor for the tunnel is EUROVIA CZ, a.s. and PORR a.s. The designer of the implementation documentation is the SATRA spol. s r.o. company. The construction was officially started on 16/12/2024, physical work began not until the first half of 2025.

The Dubeč tunnel is ca. 270m long, a classic cut-and-cover tunnel in an open construction pit that is secured by sprayed concrete, nailing, and sloping (Fig. 11). The tunnel consists of two

standalone three-lane vault tubes founded on strip footing, one for each driving direction (LTT 266.75m, RTT 270.80m), with a shared middle wall. Three sections of pile foundations have been completed as of today. Due to encountered different geotechnical conditions at the construction site in comparison to the expectation of the exploration, a change in the founding is being prepared for the subsequent section.

The Na Vysoké tunnel is ca. 391m long, a classic cut-and-cover tunnel in an open construction pit secured by sloping, sprayed concrete, and nailing. The tunnel consists of two standalone four-lane vault tubes (except for a section underneath a railway, Fig. 12) founded on strip footing, one for each driving direction (LTT 391.58m, RTT 384.95m), with a shared middle wall. Two atypical

TUNELY NA STAVBĚ DO 511

Na právě realizované stavbě Pražského okruhu D0 511 úsek D1 – Běchovice se nacházejí dva hloubené tunely, tunel Dubeč a tunel Na Vysoké. Objednatel je ŘSD s.p., zhotovitelem tunelu jsou a EUROVIA CZ, a.s. a PORR a.s. Projektantem RDS je společnost SATRA spol. s r.o. Stavba byla oficiálně zahájena 16. 12. 2024, fyzicky byly práce zahájeny až v průběhu 1. pololetí 2025.

Tunel Dubeč je cca 270 m dlouhý, klasicky hloubený tunel do otevřené stavební jámy zajištěné stříkaným betonem, hřebíkováním a vysvahováním (obr. 11). Tunel sestává ze dvou samostatných třípruhových klenbových tubusů, jeden pro každý jízdní směr (LTT 266,75 m, PTT 270,80 m), se společnou střední stěnou, založených na základových pasech. Aktuálně jsou dokončeny tři sekce založení na pilotách. Vlivem zastižení rozdílných geotechnických podmínek na stavbě oproti předpokladům průzkumu se zpracovává změna založení v navazujícím úseku.

Tunel Na Vysoké je cca 391 m dlouhý, klasicky hloubený tunel do otevřené stavební jámy svahováním, resp. stříkaným betonem a hřebíkováním. Tunel sestává ze dvou samostatných čtyřpruhových klenbových tubusů (s výjimkou sekcí pod železnicí, obr. 12), jeden pro každý jízdní směr (LTT 391,58 m, PTT 384,95 m), se společnou střední stěnou, založených na základových pasech. Aktuálně jsou dokončeny dvě atypické sekce pod dráhou v rozsahu základové pasy, stěny a strop. Dále byly provedeny následné dvě sekce bočních stěn a základů navazujících dvou klenbových sekcí. Zpětná přeložka dráhy se předpokládá v 09–10/2026.

Ing. PAVEL ŠOUREK, pavel.sourek@satra.cz,
SATRA spol. s r.o.



Obr. 11 Stavební jáma tunelu Dubeč
Fig. 11 Dubeč tunnel construction pit



Obr. 12 Výstavba tunelu Na Vysoké – sekce pod dráhou
Fig. 12 Na Vysoké tunnel construction – section underneath the railway

sections underneath the railway have been completed as of now, more precisely their strip foundation, walls, and ceiling. Then, two connecting parts of lateral walls and foundations of the following two vault sections have been completed. Reversing the railway diversion is expected in 09–10/2026.

Ing. PAVEL ŠOUREK, pavel.sourek@satra.cz,
SATRA spol. s r.o.

SLOVENSKÁ REPUBLIKA

TUNELY NA ŽELEZNIČNEJ SIETI

Tunel Španí Háj

Modernizácia železničnej infraštruktúry vybraných tratí ŽSR spočíva v prestavbe existujúcej železničnej dopravnej cesty za účelom zlepšenia jej technickej vybavenosti a použiteľnosti zabudovaním moderných a progresívnych prvkov, a tým zlepšenia jej parametrov.

Dvojkolajný železničný tunel Španí Háj s dĺžkou 711 m je súčasťou stavby „Modernizácia železničnej trate Žilina – Košice, úsek trate Poprad-Tatry (mimo) – Krompachy“. Trasa tunela je vedená pod juhozápadnými svahmi kopca Španí Háj, v ľavostranných svahoch Gánovského potoka, západne od obce Vydrník.

Tunelová rúra je rozdelená na úseky budované razením a hĺbením. Razená časť tunela bola realizovaná v zmysle zásad Novej rakúskej tunelovacej metódy s použitím mechanického rozpojovania pomocou tunelbágra v priortálových oblastiach. Dĺžka razenej časti tunela je 672 m. Hĺbené úseky budú budované v otvorenej stavebnej jame na portáloch a následne zasýpané. Dĺžka hĺbenej časti je 36 m od východného portálu a 3 m od západného portálu, celkovo 39 m.

Aktuálny stav výstavby tunela je v poslednom júnovom týždni roku 2026 nasledovný: Potom, čo bol tunel vo februári tohto roku prerazený, boli následne dorazené aj úseky stupňa a protiklenby. Aktuálne prebiehajú práce na profilácii primárneho ostenia v úseku blokov č. 30 až 56.

Staré banské dielo „štôľňa č. 13“, ktoré bolo identifikované približne 50 m od západného portálu, bolo úspešne sanované schválenou injektážnou zmesou.

Naplnlo sa rozbehli aj práce na sekundárnom ostení. Hĺbený tunel na východnom portáli je zabetónovaný a realizuje sa pokládka hydroizolačného súvrstvia z vonkajšej strany (obr. 13). Aktuálne je zrealizované hydroizolačné súvrstvie v razenej časti po blok č. 25 z celkového počtu 60 blokov. Zároveň prebiehajú práce na armovaní hornej klenby (obr. 14), momentálne po blok č. 23, a taktiež sa realizuje betónáž hornej klenby sekundárneho ostenia, aktuálne po blok č. 17.

SLOVAK REPUBLIC

RAILWAY TUNNELS

Španí Háj Tunnel

The modernization of selected sections of the ŽSR (Railways of the Slovak Republic) railway infrastructure involves the reconstruction of the existing railway corridor with the objective of improving its technical equipment and operational performance through the incorporation of modern and advanced technologies, thereby enhancing its overall parameters.

The double-track Španí Háj railway tunnel, with a length of 711m, forms part of the project “Modernization of the Žilina–Košice railway line, Poprad-Tatry (not included) – Krompachy section.” The tunnel alignment passes beneath the southwestern slopes of Španí Háj Hill, on the left bank slopes of the Gánovský Stream, west of the village of Vydrník.

The tunnel tube is divided into sections constructed by conventional underground excavation method and by cut-and-cover construction. The conventionally driven tunnel section was excavated in accordance with the principles of the New Austrian Tunnelling Method (NATM), using a tunnel excavator in the portal areas. The length of the driven tunnel section is 672m.

The cut-and-cover sections are being constructed within open excavation pits at the portals and will subsequently be backfilled. The cut-and-cover section is 36m long at the eastern portal and 3m long at the western portal, giving a total length of 39m.

The status of tunnel construction during the last week of June 2026 is as follows:

Following tunnel breakthrough in February of this year, the bench and invert sections were subsequently completed. At present, profiling works on the primary lining are underway between blocks No. 30 and No. 56.

The abandoned mine working “Adit No. 13”, identified approximately 50m from the western portal, has been successfully stabilized using the approved grouting mixture.

Work on the secondary lining has also progressed to full scale. The cut-and-cover section at the eastern portal has been concreted, and installation of the external waterproofing system is currently underway (Fig. 13). To date, the waterproofing system has been completed in the driven tunnel section up to Block No. 25 out of a total of 60 blocks.

At the same time, reinforcement of the tunnel vault is in progress (Fig. 14), currently up to Block No. 23, while concrete casting of the secondary lining tunnel vault has been completed up to Block No. 17.

A total of ten invert arches have been constructed, and foundation strips have been completed up to Block No. 30. Leveling concrete beneath the foundation strips has



Obr. 13 Klenba hĺbeného úseku tunela Španí Háj

Fig. 13 Vault of the cut-and-cover section of the Španí Háj tunnel



Obr. 14 Armovanie hornej klenby sekundárneho ostenia v tuneli Španí Háj

Fig. 14 Reinforcement of the tunnel vault of the secondary lining in the Španí Háj tunnel

Sú vybudované spodné klenby v počte 10 kusov a základové pásy po blok č. 30. Podkladové betóny pod základové pásy sú pripravené po blok č. 48. Bočná drenáž je zrealizovaná po blok č. 25.

V súčasnej dobe prebieha príprava na realizáciu chodníkov a káblových trás v tuneli a taktiež na realizáciu stredovej drenáže a výplňových betónov pod pevnú jazdnú dráhu.

Ing. MARTIN SMOLKA, Skanska SK a. s.

been prepared up to Block No. 48. The side drainage system has been completed up to Block No. 25.

Preparations are currently underway for the construction of the tunnel walkways and cable ducts, as well as for the installation of the central drainage system and the fill concrete beneath the slab track structure.

Ing. MARTIN SMOLKA Skanska SK a.s.

Z HISTORIE PODZEMNÍCH STAVEB FROM THE HISTORY OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

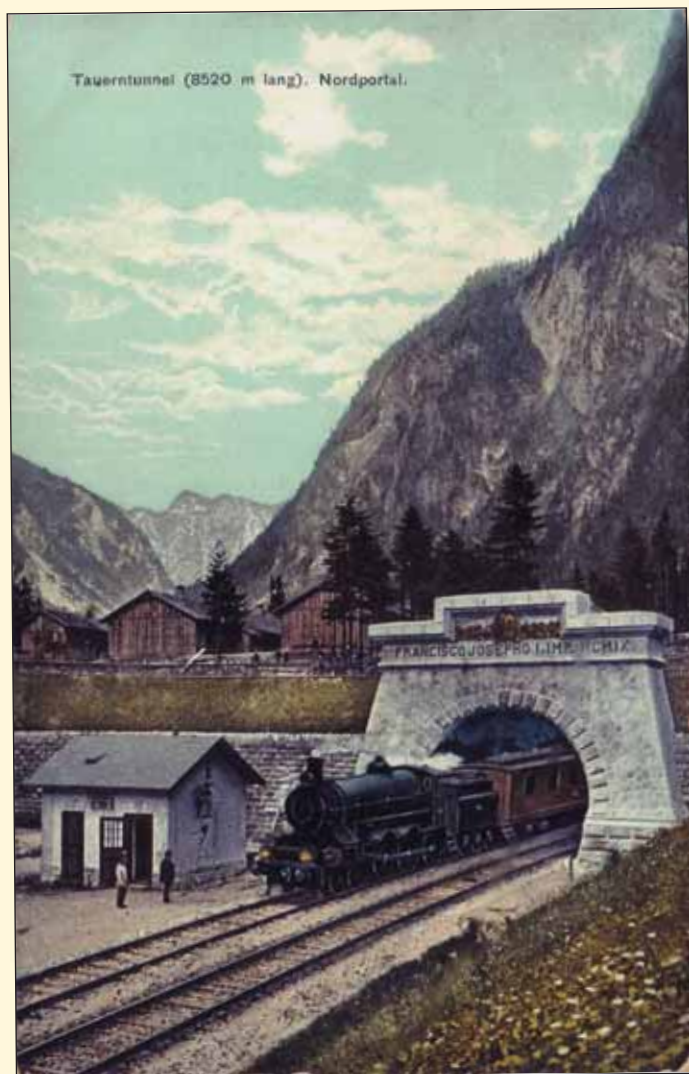
POHLEDNICE S TUNELY NA TAURSKÉ ŽELEZNICI PICTURE POSTCARDS WITH TUNNELS ON THE TAUERN RAILWAY

Alpine countries – Austria, Switzerland, Italy... are rightfully considered to be one of the birthplaces of tunnelling. The reason is simple – railways routed in the mountains had to overcome large natural obstacles, and that was possible only using bridges and tunnels. Although positions of Czech and Slovak tunnellers were naturally closer primarily with the Austrian countries, with which they had a long coexistence as a single country. And exactly here, in the country of southern neighbours of the Czech Republic, one of the noteworthy mountain railways has been in service for over 100 years – the Tauern Railway. Two picture postcards with Tauern tunnels were introduced already 12 years ago in the TUNEL journal edition 4/2014. The current episode of this “series” brings eight more picture postcards with tunnels on this railway. Their importance does not lie only in their historical value, but also in the fact that they portray tunnels shortly after their construction and in operation. An interesting and large medal handed out on the occasion of the Tauern peak tunnel breakthrough belongs to the history of the presented railway.

Za jednu z kolébek tunelárství jsou právem považovány alpské země – Rakousko, Švýcarsko, Itálie... Důvod je jednoduchý – že-

leznice vedená do hor musela překonávat velké přírodní překážky, a to bylo možné jen pomocí mostů a tunelů. Profesní pozici tunelářů českých a slovenských přitom byly přirozeně blízké především rakouské země, se kterými je spojovala dlouhá existence ve společném soustátí. A právě u jižních sousedů České republiky je již přes 100 let provozována jedna z pozoruhodných horských železnic – Taurská dráha. Dvě pohlednice s jejími tunely byly představeny již před dlouhými 12 lety v časopisu TUNEL 4/2014. Aktuální pokračování „seriálu“ nyní přináší dalších osm pohlednic s tunely na této dráze. Jejich význam nespočívá pouze v historické hodnotě, ale rovněž v tom, že zachycují tunely v době krátce po jejich výstavbě a v provozu. K historii prezentované železnice náleží přídavek zajímavé velké medaile vydané u příležitosti proražení Taurského vrcholového tunelu.

Vysoké Tauern (Hohe Tauern) představují geografickou osu Východních Alp s cca 120 km dlouhým hlavním hřebenem, vysokým téměř 3 800 m n. m. Větší část pohoří se nachází v Rakousku a vedle Ötztalských Alp zde leží také nejvyšší rakouské hory [1]. Horský masív překonává severojižně jedna z nejdůležitějších, nejzajímavějších a nejmalebnějších horských železnic v Evropě – 79 km dlouhá Taurská dráha (Tauernbahn). Spojuje



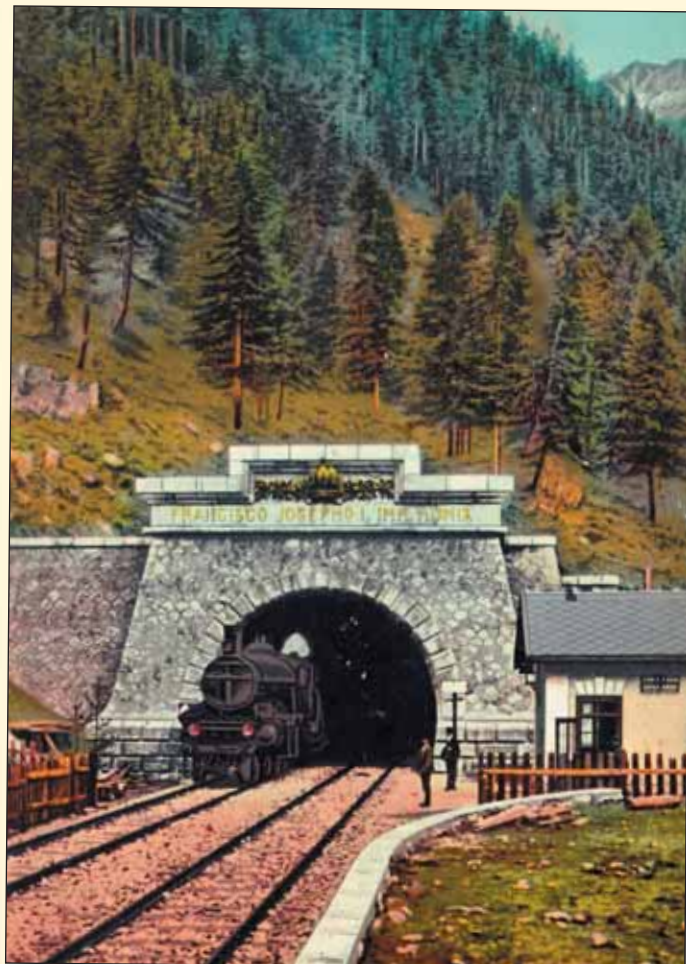
Obr. 1 Tauerntunnel (8520 m lang). Nordportal. [Taurský tunel (dlouhý 8520 m). Severní portál.] Kolorovaná fotografie. Ferd. V. Kleinmayr, Klagenfurt. Nr. 626/2. 1914 [sbírka autorů].

Fig. 1 Tauerntunnel (8520 m lang). Nordportal. [Tauern tunnel (8,520m long). Northern portal.] Colourised photograph. Ferd. V. Kleinmayr, Klagenfurt. Nr. 626/2. 1914 [authors' collection].

Schwarzach – St. Veit v Salzbursku se Spittal an der Drau v Korutanech. Význam má rovněž regionální a vedle toho zajišťuje turistickou dopravu do údolí Gastein. Řadí se k nejvyšším evropským tratím normálního rozchodu; v samotném Rakousku je třetí nejvyšší.

Rakousko-Uhersko dlouho postrádalo po otevření Suezského průplavu (1869) spojení svého hlavního přístavu Terstu s Vídní a s doly a železárnami na severu monarchie. Až v roce 1901 bylo rozhodnuto postavit tzv. Nové alpské dráhy (Neue Alpenbahnen). Šlo o Karavanskou dráhu (Karawanken Bahn) z Villachu do Jesenice, pokračující do Terstu přes Julské Alpy Bohinjskou dráhou (Wocheiner Bahn) a o železniční trať z Linze přes Pyhrnský průsmyk k železničnímu uzlu Selzthal. Ale patrně nejdůležitější z těchto Nových drah byla Taurská železnice, představující státní alternativu k soukromé dráze Semmeringové.

Taurská dráha překonává na severní straně převýšení 636 m, na jihu 682 m. Nejvyšší bod trati (1226 m n. m.) je v Taurském tunelu (po otevření 8 550 m, od roku 2004 8371 m). Vedle tohoto vrcholového provozovala železnice původně dalších 17 tunelů, které měly v době jejího zahájení celkovou délku 6408 m. Vrcholový tunel byl postavený jako dvokolejný, což v době výstavby nebylo zdaleka samozřejmé, přilehlé úseky na severu a jihu zůstaly



Obr. 2 Tauerntunnel (8520 m lang). Südportal. [Taurský tunel (dlouhý 8520 m). Jižní portál.] Kolorovaná fotografie. Ferd. V. Kleinmayr, Klagenfurt. Nr. 611/12. 1913 [sbírka autorů].

Fig. 2 Tauerntunnel (8520 m lang). Südportal. [Tauern tunnel (8,520m long). Southern portal.] Colourised photograph. Ferd. V. Kleinmayr, Klagenfurt. Nr. 611/12. 1913 [authors' collection].

jednokolejné. Na Taurském vrcholovém tunelu byly práce zahájeny v roce 1901, na Severní rampě ze Schwarzach-St. Veit v roce 1902. První úsek trati ke stanici Bad Gastein byl otevřený 20. 9. 1905, jižní nájezd do Spittal an der Drau byl budovaný od roku 1906. Dokončenou trať slavnostně otevřel císař František Josef I. dne 5. 7. 1909 [2].

Mezi lety 1933–35 byla Taurská dráha elektrifikována. Od roku 1969 bylo zahájeno, po téměř 40 letech přípravy, zdvoukolejňování jednotlivých úseků. Byly s tím zřízeny zcela nové pasáže trati, viadukty a tunely. Trasa byla upravována tak, aby bylo možné, vedle dopravní zátěže, také zvýšit rychlost až na 130 km/hod. Úpravy proběhly za plného provozu v pěti fázích a přišly na cca 0,5 mld. €. Části vyřazeného železničního tělesa mezi Mallnitz a Obervellach byly přitom upraveny na turistickou stezku. Dnes je na trati (vedle původního vrcholového Taurského) sice již jen 12 tunelů, jejich celková délka však vzrostla na 9972 m; z nich dominuje na jižní rampě Nový Kaponig (dl. 5096 m).

Taurský tunel

Dvokolejný vrcholový tunel Taurské železnice se nachází mezi stanicemi Böckstein v Salzbursku (sever, 1172,80 m n. m. – obr. 1) a Mallnitz v Korutanech (jih, 1219,00 m n. m. – obr. 2 a 3). Prochází přímo pod hřebenem Vysokých Taur (2790 m n. m.). Stavbu tunelu, původně dlouhého 8 550,60 m, realizovala moderní rakouskou metodou firma Brüder Redlich & Berger. Zahájeno



Obr. 3 Tauernbahn – Tauertunnel (8550 m lg.) bei Mallnitz (1185 m). [Taurská dráha – Taurský tunel (dlouhý 8550 m) u Mallnitz (1185 m n. m.).] Stengel & Co., G.m.b.H., Dresden. 1911 [sbírka autorů].

Pohlednice byla 16. 7. 1924 odeslána do Prahy-Bubenče p. MUDr. Josefu Poláčkovi.

Fig. 3 Tauernbahn – Tauertunnel (8550 m lg.) bei Mallnitz (1185 m). [Tauern railway – Tauern tunnel (8,550m long) at Mallnitz (1,185m asl.).] Stengel & Co., G.m.b.H., Dresden. 1911 [authors' collection].

The picture postcard was sent on 16/07/1924 to Prague-Bubeneč to Mr. MUDr. Josef Poláček.



Obr. 4 Pamětní medaile vydaná u příležitosti proražení Taurského vrcholového tunelu. Bronz, Ø 100 mm, 258 g [soukromá sbírka].

Avers: Múza, v levé ruce má kružítko, v pravé snůtku vavřínu. V pozadí scéna setkání razičů, na počtvě datum proražky: 21. JULI 1907. Opis: DURCHSCHLAG DES TAUERN-TUNNELS (PRORÁŽKA TAURSKÉHO TUNELU). Signatura E. Hellmer (pozn.: Edmund Ritter von Hellmer, *1850 Vídeň – †1935 Vídeň, rakouský sochař ve stylech historismu a secese [6]).

Revers: Nápis: ZUR / ERINNERUNG AN / DEN DURCHSCHLAG / DES TAUERN TUNNELS / JULI 1907 / K K EISENBAHNBAUDIREKTION / BAUNTERNEHMUNG BRÜDER / REDLICH u. BERGER. (NA PAMÁTKU PRORÁŽENÍ TAURSKÉHO TUNELU / ČERVENEC 1907 / C K ŘEDITELSTVÍ ŽELEZNIČNÍ VÝSTAVBY / STAVEBNÍ FIRMA BRATŘI / REDLICHOVÉ a BERGER).

Fig. 4 Commemorative medal issued on the occasion of Tauern peak tunnel breakthrough. Bronze, Ø 100mm, 258g [private collection].

Avers: Muse, she has a pair of compasses in her left hand and a branchlet of laurels in her right. In the background a scene with a meeting of tunnellers, on the invert the date of the breakthrough: 21. JULI 1907. Transcription: DURCHSCHLAG DES TAUERN-TUNNELS (BREAKTHROUGH OF THE TAUERN TUNNEL). Signatura E. Hellmer (note: Edmund Ritter von Hellmer, *1850 Vienna – †1935 Vienna, Austrian sculptor with historicism and secession styles [6]).

Revers: Writing: ZUR / ERINNERUNG AN / DEN DURCHSCHLAG / DES TAUERN TUNNELS / JULI 1907 / K K EISENBAHNBAUDIREKTION / BAUNTERNEHMUNG BRÜDER / REDLICH u. BERGER. (IN MEMORY OF TAUERN TUNNEL BREAKTHROUGH / JULY 1907 / C K RAILWAY CONSTRUCTION DIRECTORATE / CONSTRUCTION COMPANY BROTHERS / REDLICH AND BERGER).

bylo na severu 6. 7. 1901, proražka připadla na 21. 7. 1907, dokončení tunelu 23. 1. 1909, lokomotivy projížděly od 26. 2. 1909. Roku 2004 byly ve vrcholovém tunelu završeny několik let trvající práce pro zvýšení bezpečnosti provozu. Severní úsek u Böcksteinu byl částečně napřímený, což tunel zkrátilo o 179 m na dnešních

8371 m. Starý portál byl opraven a zachován při nové trase jako technický památník železničního inženýrství. Další fáze rekonstrukce, již v úplné uzavírci od 18. 11. 2024 do 13. 7. 2025, se týkaly nejen tunelové klenby (29. 12. 2024 se jí u severního portálu zřítilo cca 15 m), ale také kolejové dráhy, trolejových vedení a dalšího tunelového vybavení. Následující uzavírka tunelu je naplánovaná v první polovině roku 2027 a má trvat pět měsíců.

Zajímavosti:

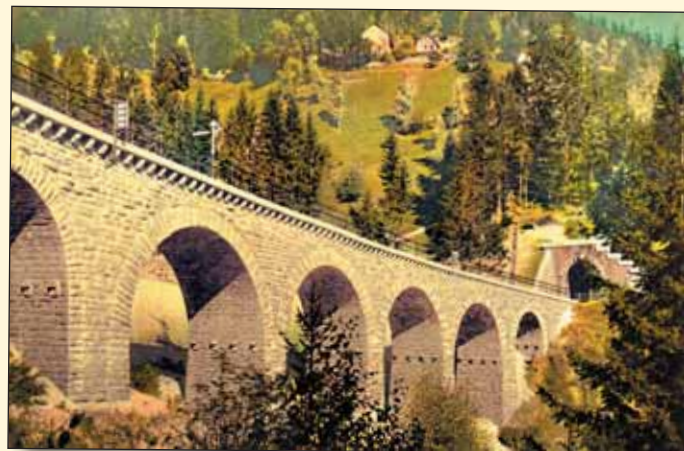
- Prakticky totožné původní portály nesly na římse nápis: „FRANCISCO JOSEPHO I. IMP. MCMIX“ (FJ. CÍSAŘ 1909) – obr. 1 a 2. Nad nápisem je rakouská císařská koruna podložená vavřínovou ratolestí.
- K příležitosti proražky Taurského tunelu 21. 7. 1907 byla zhotovena velká medaile – obr. 4.
- Již od roku 1920 jsou speciálními vozy tunelem přepravovány automobily, motocykly a jízdní kola. Průjezd trvá cca 12 minut.
- Na stanicích dráhy Mallnitz-Obervellach a Böckstein jsou připraveny zvláštní záchranné vlaky k zásahu v případě mimořádných událostí v tunelech či na trati.
- Za neobvyklou obecní heraldiku lze považovat stylizovaný portál tunelu ve znaku obce Mallnitz na jižním vstupu [1, 2, 3, 4].

Pozn.: Délka Taurského vrcholového tunelu je v popisech pohlednic na obr. 1 a 2 dána hodnotou 8520 m, když obvykle se uvádí 8550 m. Rozdíl může být způsobený tím, že v rakousko-uherských železničních statistikách se někdy rozlišovala:

- Baulänge (stavební délka);
- Länge zwischen den Portalen (délka mezi portály);
- Nutzlänge (provozní délka).

Horní tunel Kaponig

Stavba Horního tunelu Kaponig, dlouhého 236,05 m, byla na jižní větví dráhy dokončena 18. 2. 1908. Událost byla slavně oznámená padesáti odstřely dynamitu. Po devadesáti letech existence byl tunel v roce 1999 vyřazený z provozu, spolu s přilehlým, 95 m dlouhým, viaduktem Laskitzer. Na obr. 5 je západní portál tunelu směrem od bývalé stanice Kaponig. Dnes je vlevo od něj výstup únikové štolý Nového tunelu Kaponig, který je s 5096 m v současnosti druhým nejdelším tunelem celé Taurské dráhy.



Obr. 5 Tauernbahn. Laskitzer-Viadukt mit oberem Kapponigtunnel. [Taurská dráha. Viadukt Laskitzer s Horním tunelem Kaponig.] Kolorovaná fotografie. Purger & Co., München – Photochromiekarte. No. 9663. Po 1918 [sbírka autorů].

Fig. 5 Tauernbahn. Laskitzer-Viadukt mit oberem Kapponigtunnel. [Tauern railway. Laskitzer viaduct with the Upper Kaponig tunnel.] Colourised photograph. Purger & Co., München – Photochromiekarte. No. 9663. Po 1918 [authors' collection].



Obr. 6 Tauerbahn – Kapponig-Viadukt [Taurská dráha – Viadukt Kaponig.] Kolorovaná fotografie. Purger & Co. München. Photochromierkarte. No. 9664. 1919 [sbírka autorů].

Fig. 6 Tauerbahn – Kapponig-Viadukt [Tauern railway – Kaponig viaduct.] Colourised photograph. Purger & Co. München. Photochromierkarte. No. 9664. 1919 [authors' collection].



Obr. 7 Tauernbahn. Pfaffenberg-Zwenberg-Viadukt (Kärnten). [Taurská dráha. Viadukt Pfaffenberg-Zwenberg (Korutany).] Kolorovaná fotografie. Purger & Co., München. Photochrom II. No. 9667. Okolo 1920. [sbírka autorů] [7].

Fig. 7 Tauernbahn. Pfaffenberg-Zwenberg-Viadukt (Kärnten). [Tauern railway. Pfaffenberg-Zwenberg Viaduct (Carinthia).] Colourised photograph. Purger & Co., München. Photochrom II. No. 9667. Around 1920. [authors' collection] [7].



Obr. 8 Tauernbahn: Ober- und Unterfalkenstein. [Taurská dráha: Horní a Dolní Falkenstein.] Kolorovaná fotografie. Verlag Caspar & Poltnig, Vaillach. P 123. 1910 [sbírka autorů].

Fig. 8 Tauernbahn: Ober- und Unterfalkenstein. [Tauern railway: Upper and Lower Falkenstein.] Colourised photograph. Verlag Caspar & Poltnig, Vaillach. P 123. 1910 [authors' collection].

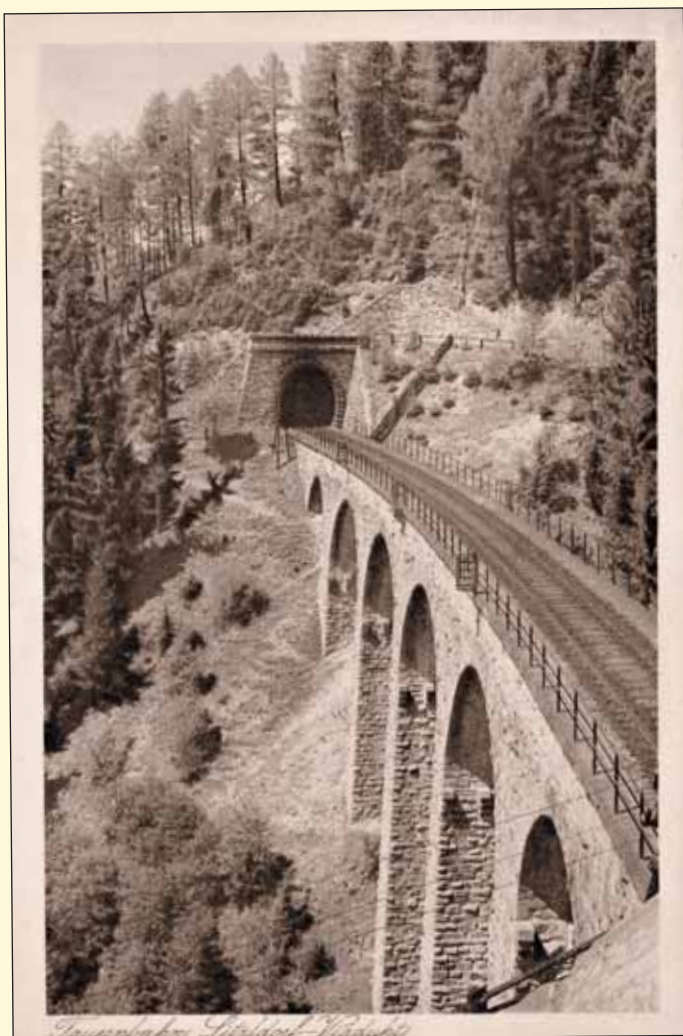


Obr. 9 Von der Tauerbahn. Ruine Ober-Falkenstein mit der Kreuzeckgruppe. [Z Taurské dráhy. Zřícenina Horního Falkensteinu se skupinou Kreuzeck.] Kolorovaná fotografie. Verlag Gutenberghaus Klagenfurt. No. 1366. 1910 [sbírka autorů].

Stejně jako na obr. 8 je vedle hradní zříceniny zřetelně vidět zachovaná kaple sv. Jana.

Obr. 9 Von der Tauerbahn. Ruine Ober-Falkenstein mit der Kreuzeckgruppe. [From the Tauern railway. Upper Falkenstein ruins with the Kreuzeck range.] Colourised photograph. Verlag Gutenberghaus Klagenfurt. No. 1366. 1910 [authors' collection].

As in Fig. 8, the preserved St. Jan chapel is clearly visible next to the castle ruins.



Obr. 10 Tauernbahn. Litzldorf-Viadukt. [Taurská dráha. Viadukt Litzldorf.] Aufnahme und Verlag Franz Knollmüller, Graz. Nr. 759/9. 1926 [sbírka autorů].

Fig. 10 Tauernbahn. Litzldorf-Viadukt. [Tauern railway. Litzldorf viaduct.] Aufnahme und Verlag Franz Knollmüller, Graz. Nr. 759/9. 1926 [authors' collection].

Na obr. 6 je východní portál Horního tunelu Kaponig, a to od bývalé stanice Penk. Hlavním motivem pohlednice je viadukt Kaponiggraben (dl. 105 m). Ten byl vyřazený z provozu rovněž roku 1999. (Pozn.: Dnes je pro lokalitu používán název Kaponig místo starší formy Kapponig) [5].

Tunel Zwenberg

Na obr. 7 je severní portál tunelu Zwenberg při pohledu od bývalé stanice Kaponig. Tunel byl dlouhý 391 m a stejně jako viadukt Pfaffenberg-Zwenberg (v původní délce 149 m) je od roku 1971 vyřazený z provozu [5].

Tunel Falkenstein

Dnes částečná zřícenina hradu Falkenstein náleží k nejstarším stavbám tohoto typu v Korutanech. Hrad je písemně připomínaný již

k roku 1164. Taurská železnice procházela přímo pod hradní výspou jednokolejným tunelem dlouhým 67 m. Provoz tohoto tunelu byl ukončený 13. 7. 1974. Na obr. 8 je jeho západní portál s malebným nádražíčkem. Obr. 9 zobrazuje skálu s hradem a východním portálem tunelu. V pozadí snímku se rýsuje horská skupina Kreuzeck [5].

Horní tunel Litzldorf

Na obr. 10 je jihovýchodní portál Horního Litzldorfského tunelu, od bývalé stanice Kolbnitz. Tunel, dlouhý 84 m, byl v roce 1984 vyřazený z provozu, stejně jako stejnojmenný 82 m dlouhý viadukt Litzldorf [5].

doc. Ing. VLADISLAV HORÁK, CSc.,

Ing. VLASTIMIL HORÁK,

Ing. MILAN MAJER

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Hohe Tauern [online]. [cit. 2026-04-22]. Dostupné na internetu: < Hohe Tauern – Wikipedia, volná encyklopédia >
- [2] Tauern Railway [online]. [cit. 2026-04-22]. Dostupné na internetu: < https://en.wikipedia.org/wiki/Tauern_Railway >
- [3] Eisenbahn-Tunnel in Österreich [online]. [cit. 2026-04-22]. Dostupné na internetu: < <http://www.eisenbahntunnel.at> >
- [4] List of tunnels in Austria [online]. [cit. 2026-04-22]. Dostupné na internetu: < https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_tunnels_in_Austria >
- [5] Strecke 222 01, Schwarzach-St. Veit – Villach Hbf (Tauernbahn) [online]. [cit. 2026-04-22]. Dostupné na internetu: < <https://www.eisenbahntunnel.at/inhalt/tunnelportale/22201.html> >
- [6] Edmund von Hellmer [online]. [cit. 2026-04-22]. Dostupné na internetu: < https://en.wikipedia.org/wiki/Edmund_von_Hellmer >
- [7] Burg Falkenstein (Obervellach) [online]. [cit. 2026-04-22]. Dostupné na internetu: < [https://de.wikipedia.org/wiki/Burg_Falkenstein_\(Obervellach\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Burg_Falkenstein_(Obervellach)) >

ZPRAVODAJSTVÍ ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE ITA-AITES CZECH TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES REPORTS

www.ita-aites.cz

VALNÉ SHROMÁŽDĚNÍ CZTA ITA-AITES GENERAL ASSEMBLY CZTA ITA-AITES

The General Assembly of the Czech Tunnelling Association ITA-AITES was held on June 10th, 2026, with Ing. Ivan Hrdina, Chairman of the CzTA, presiding. Unorthodoxly, in order to accommodate the tight schedule of one of the contestants, the Assembly started by sharing the results of the student contest for the best diploma thesis. The first place was achieved by Ing. Ondřej Kryl, the second place belonged to Ing. Christian Genzer, and Ing. Max Dresler took the third. The traditional awarding of the CzTA commemorative medals followed right after. This time, it was awarded to Ing. Aleš Zapletal, DrSc., although the medal was handed to him at a different time due to illness. The second medal of this year was awarded to Ing. Jan Škrábek. Then, Ing. Ivan Hrdina informed about the activities of the association since the previous General Assembly. Another topic on the agenda was the economic report, which was presented by Ing. Markéta Prušková, Ph.D. In 2025, the association reached a very positive result. Doc. Ing. Alexandr Butovič, Ph.D., summarised the first results of the UC Prague 2026 conference that just took place. The

information is published as a standalone contribution in this edition of the Tunel journal. Ing. Markéta Prušková, Ph.D., familiarised the attendants with planned activities of the association for 2026. Then, doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D., disclosed the current state of the CzTA Working Groups. The last section of the General Assembly included two expert lectures. The first speaker was Petr Pospíšil, M.Sc. EUR ING, CEng, who prepared a lecture on the topic of Operational safety of tunnels. The second one was Ing. Radek Bernard, Ph.D., who familiarised the attendants with the recently organised WTC 2026 and also described the current activities of ITA-AITES Working Groups.

Valné shromáždění České tunelářské asociace ITA-AITES se konalo ve středu 10. června 2026 v hotelu Olšanka, Táboritká 23, Praha 3. Jednání zahájil a řídil předseda CzTA Ing. Ivan Hrdina.

Neobvykle jako první bod proběhlo vyhodnocení studentské soutěže o nejlepší diplomovou práci z oboru podzemní stavitelství za rok 2025 a to z důvodu časové tísně jednoho z oceněných.



Obr. 1, 2 a 3 Ocenění studenti zleva Ing. Ondřej Kryl, Ing. Christian Genzer, Ing. Max Dresler
Fig. 1, 2 and 3 Award winning students Ing. Ondřej Kryl, Ing. Christian Genzer and Ing. Max Dresler

Komise, která má soutěž ve své kompetenci, rozhodla následujícím způsobem. První místo získal Ing. Ondřej Kryl (FSv ČVUT), jeho práce nesla název Odezva horniny na mechanické a teplotní změny v in-situ modelu ukládacího vrtu hlubinného uložště. Druhé místo patřilo Ing. Christianu Genzerovi (FAST VUT) s názvem diplomové práce Podzemní garáže pod brněnským Petrovem. Na třetím místě se umístil Ing. Max Dresler (FSv ČVUT) s tématem Komparativní analýza metod ražby hlubinného uložště radioaktivních odpadů v České republice: Mechanizovaná versus konvenční technologie. Ocenění předala studentům místopředsdkyně CzTA doc. RND. Eva Hrubešová, Ph.D. (obr. 1–3).

Následovalo předávání pamětních medailí CzTA, které byly tentokrát uděleny Ing. Aleši Zapletalovi, DrSc., za celoživotní přínos v oblasti statiky ostění cyklicky i kontinuálně ražených podzemních staveb. Kvůli nemoci mu byla předána v náhradním termínu (obr. 4). Druhá medaile byla v tomto roce udělena Ing. Janu Škrábekovi za dlouhodobou aktivní účast na realizaci tunelových staveb, spojenou se zaváděním nových technologií a systematickou výchovou mladé generace tunelářů (obr. 5).

V zápětí Ing. Ivan Hrdina informoval členy CzTA o činnosti asociace od konání minulého valného shromáždění. Mezi ně patří například pořádání Tunelářských odpolední, která se stále konají prezenčně i on-line. Další významnou činností je vydávání časopisu Tunel, který vychází čtyřikrát v roce.

Následujícím bodem jednání byla zpráva o hospodaření, kterou přednesla Ing. Markéta Prušková, Ph.D. V roce 2025 dosáhla asociace velmi příznivého výsledku, kdy její hospodaření skončilo výrazně nižší ztrátou, než předpokládal návrh rozpočtu. Poté byli přítomní seznámeni s návrhem rozpočtu asociace na rok 2026. Vyšší ztráta je navržena z důvodu zahájení přípravy publikace Podzemní stavby v České republice, která by měla být pokračováním knihy vydané u příležitosti pořádání WTC 2007. Je plánováno její zařazení mezi konferenční materiály pro PS 2029. Druhou novou položku tvoří náklady na vydání publikace o medailích a dalších upomínkových předmětech s tematikou podzemních staveb, kterou

připravil doc. Ing. Vladislav Horák, CSc. Její konkrétní podoba je zatím v jednání.

Doc. Ing. Alexandr Butovič, Ph.D., referoval o právě proběhlé konferenci Podzemní stavby Praha 2026, které se věnuje samostatný příspěvek v tomto vydání časopisu Tunel.

Ing. Markéta Prušková, Ph.D., obeznámila přítomné s plánem činnosti asociace na rok 2026. Bude pokračovat příprava časopisu Tunel a pořádání Tunelářských odpolední. Poté vystoupila doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D., se sdělením o současném stavu pracovních skupin CzTA, bohužel pouze některé z nich vykazují aktivní činnost.



Obr. 4 Předávání pamětních medailí CzTA – Ing. Aleš Zapletal, DrSc.
foto Radim Mana photo Radim Mana

Fig. 4 Presentation of CzTA commemorative medals to Ing. Aleš Zapletal, DrSc.



Obr. 5 Předávání pamětních medailí CzTA – Ing. Jan Škrábek
foto Ing. Libor Mařík photo Ing. Libor Mařík

Fig. 5 Presentation of CzTA commemorative medals to Ing. Jan Škrábek

Letošní zasedání bylo tradičně zakončeno odbornou přednáškou, resp. letos se jednalo o dvě témata. Nejdříve Petr Pospíšil, M.Sc. EUR ING, CEng, (Tunguard International s.r.o.) připravil téma Provozní bezpečnost tunelů. Následovala přednáška Ing. Radka Bernarda, Ph.D. (SG Geotechnika, a.s.), o právě proběhlém WTC a činnosti pracovních skupin při ITA-AITES.

Všem přítomným poděkoval Ing. Ivan Hrdina za aktivní účast a podporu asociace a popřál klidné léto.

Ing. MARKÉTA PRUŠKOVÁ, Ph.D.,
pruskova@ita-aites.cz, generální sekretář CzTA

Konference Podzemní stavby Praha 2026 ve fotografiích Conference Underground Constructions Prague 2026 in photographs



Těšíme se na vás v roce 2029!
We look forward to seeing you in 2029!

ČESKÁ TUNELÁŘSKÁ
ASOCIACE
ITA-AITES
CZECH TUNNELLING
ASSOCIATION
ITA-AITES





**Projektujeme
budoucnost
na pevných
základech**

**10
let**



**100+
klientů**



**1000+
projektů**

- Komplexní služby od záměru projektu až po realizační dokumentaci
- Konzultační činnost pro investory – vypracování odborných posudků, supervize projektové dokumentace
- Konzultační činnost pro zhotovitele – optimalizace technického řešení ve fázi nabídky i realizace
- Využití geotermální energie z podzemních staveb
- Aktivní přístup k tvorbě směrnic, norem a technických předpisů
- Odpovědný přístup odborníků se zkušenostmi z domácích i zahraničních projektů

**Zabýváme se návrhy a rekonstrukcemi
silničních, dálničních i železničních tunelů,
včetně vysokorychlostních tratí a geotechnických řešení.**



Přidejte se k nám!

Jsmo tým odborníků s mezinárodní praxí a zázemím v devíti městech v ČR i na Slovensku. Přesto, že nás je už přes 220, zakládáme si na neformálním pracovním prostředí s rodinnou atmosférou. Mladším kolegům nabízíme propracovaný systém zaškolení a předávání zkušeností od seniorních zaměstnanců. Využijte možnosti podílet se na významných infrastrukturních projektech, které budou sloužit i dalším generacím.



info@sagasta.cz