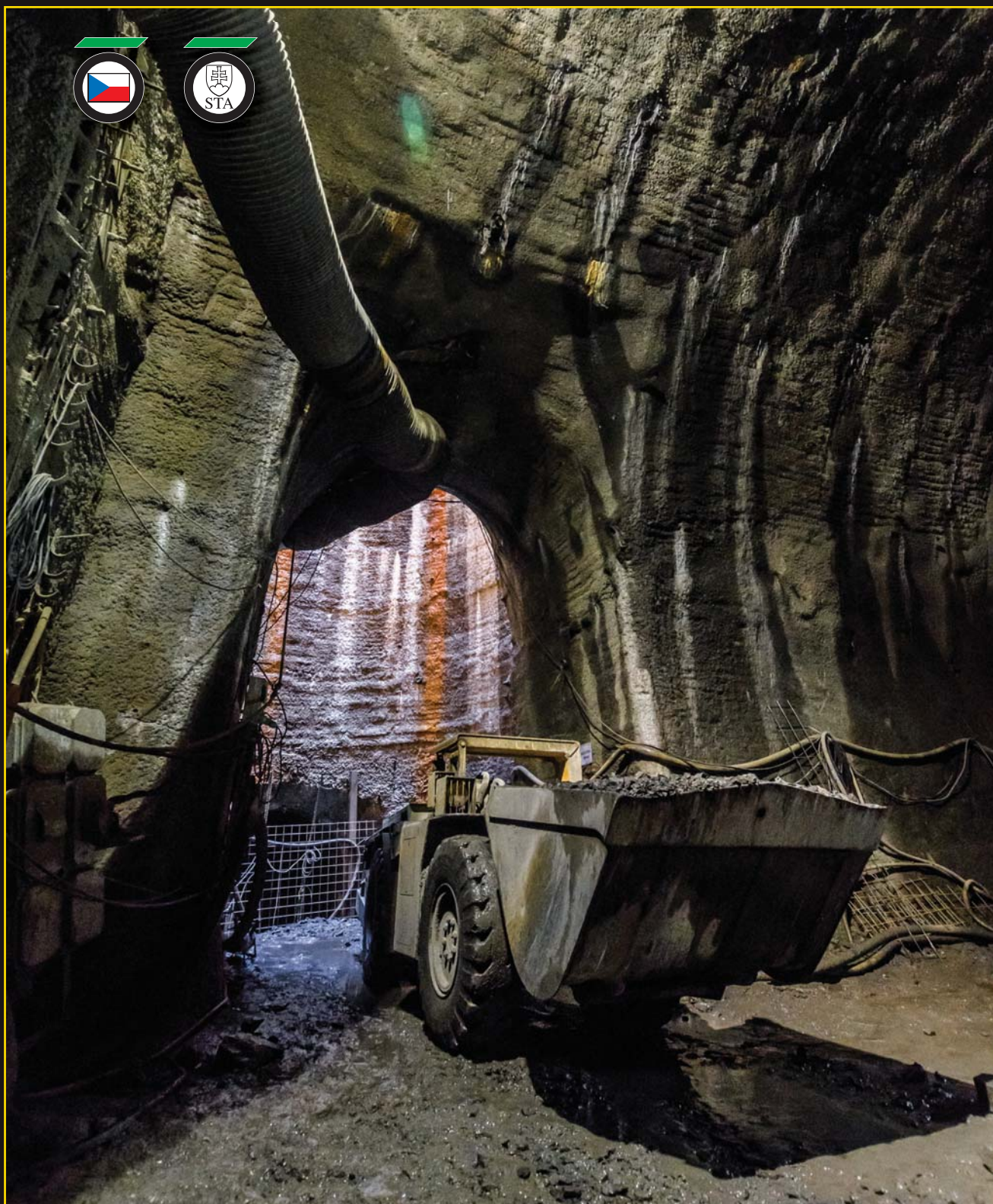


Tu nel

č. 3
2017

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





Building up Efficient and Sustainable Transport Infrastructure 2017

21. – 22. 9. 2017, Praha



Srdečně Vás zveme na mezinárodní odbornou konferenci Building Up Efficient and Sustainable Transport Infrastructure (BESTInfra 2017), kterou uspořádá ve dnech 21. – 22. září 2017 Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI) na Fakultě stavební ČVUT v Praze pod záštitou ministra dopravy České republiky Ing. Dana Ťoka, COST TU 1406, Platfóma Tecnológica Ferroviaria Española (PTFE) a Technologické agentury České republiky.

Témata:

- Vysokohodnotné materiály s nízkou energetickou náročností
- Silnice, mosty a tunely se zvýšenou odolností a delší životností
- Pokročilé technologie a výrobky pro železniční stavby
- Systémy managementu, posuzování trvanlivosti a analýza nákladů životního cyklu v dopravní infrastruktuře
- Ochrana životního prostředí a zelená dopravní infrastruktura
- Bezpečnost, spolehlivost a diagnostika konstrukcí

Registrace otevřena. Přihlášeno téměř 150 příspěvků z více než 20 zemí světa.

Kontaktní osoba:

Petr Bílý, Fakulta stavební ČVUT

Tel.: +420 737 431 835

Email: petr.bily@fsv.cvut.cz

Více informací a registrační formulář naleznete na **www.bestinfra.cz**



Podzemní stavby (vývoj, výzkum, navrhování, realizace)

Časopis České tunelářské asociace a Slovenskej tunelárskej asociácie ITA-AITES

Založen Ing. Jaroslavem Gránem v roce 1992

OBSAH

Editorial:

doc. Dr. Ing. Jan Pruška, člen redakční rady časopisu Tunel 1

Úvodníky:

Ing. Martin Srb, Ph.D., partner a jednatel společnosti

3G Consulting Engineers s.r.o. 2

prof. Ing. Alena Kohoutková, CSc., děkanka Fakulty stavební ČVUT

a manažerka projektu CESTI 3

Výstavba tunelového „řetězce“ Granitztal

Mgr. Jiří Zmítka, 3G Consulting Engineers s.r.o. 4

Tunel El Volcán – stavba vodní elektrárny Alto Maipo, Chile

Dr., Ass.-Prof. i. R. Kurt Klima, 3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH ... 15

Dlouhé dopravní tunely v indických Himálajích, dokončené,

ve výstavbě, připravované

Ing. Martin Srb, Ph.D., 3G Consulting Engineers s.r.o. 23

Výzkumné centrum CESTI – aplikační výsledky

Ing. Petr Bílý, Ph.D., Ing. Marcela Pavlíková, CSc.,

Stavební fakulta, ČVUT v Praze 30

Výpočet kondenzace vodní páry v tunelech

Ing. Michaela Mračková, prof. Dr. Ing. Bořek Patzák,

doc. Ing. Vít Šmilauer, Ph.D., doc. Dr. Ing. Jan Pruška, FSV ČVUT 40

Beton vyztužený vlákny a jeho aplikace v tunelech

prof. Ing. Jan L. Vítek, CSc., FEng. Metrostav a.s.

a Stavební fakulta ČVUT, Dr. Ing. Petr Vítek, Metrostav a.s. 48

Problematika vnitřního prostředí během realizace podzemních staveb

Ing. Jan Klečka, Ing. Jaroslav Synek, Metrostav a.s. 64

Fotoreportáž z činnosti projektu CESTI 79

Ze světa podzemních staveb 81

Zprávy z tunelářských konferencí 82

Aktuality z podzemních staveb v České a Slovenské republice 85

Z historie podzemních staveb 90

Z činnosti pracovních skupin CzTA 92

Zpravodajství České tunelářské asociace ITA-AITES 93

REDAKČNÍ RADA/EDITORIAL BOARD

Čeští a slovenští členové / Czech and Slovak members

prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. – Stavební fakulta ČVUT v Praze (předseda/Chairman)

Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D. – GEOTest, a.s.

Ing. Miloslav Frankovský – Terraprojekt a.s.

prof. Ing. Matouš Hilar, MSc., Ph.D., CEng., MICE – 3G Consulting Engineers s.r.o.

doc. Ing. Vladislav Horák, CSc. – VUT Brno, FAST

doc. RNDr. Eva Hrušková, Ph.D. – VŠB-TU Ostrava

RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D. – PUDIS a.s.

Ing. Viktória Chomová – STA

Ing. Jan Korejšík – Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.

Ing. Otakar Krásný – GeoTec-GS, a.s.

Ing. Ján Kušník – REMING CONSULT a.s.

Ing. Libor Mařík – HOCHTIEF CZ a.s.

Ing. Soňa Masarovičová – ŽU, Stav. fakulta

Ing. Miroslav Novák – METROPROJEKT Praha a. s.

doc. Dr. Ing. Jan Pruška – Stavební fakulta ČVUT v Praze

Ing. Boris Šebesta – Metrostav a.s.

Ing. Michal Šerák – Inženýring dopravních staveb a.s.

doc. Ing. Richard Šňupárek, CSc. – Ústav geoniky AVČR v.v.i.

Ing. Pavel Šourek – SATRA, spol. s r.o.

VYDAVATEL

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

DISTRIBUCE

členské státy ITA-AITES

členové EC ITA-AITES

členské organizace a členové CzTA a STA

externí odběratelé

povinné výtisky 35 knihovnám a dalším organizacím

REDAKCE

Dělnická 12, 170 00 Praha 7, tel.: +420 702 062 610

e-mail: pruskova@ita-aites.cz

web: http://www.ita-aites.cz

Vedoucí redaktor: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.

Odborní redaktori: doc. Dr. Ing. Jan Pruška, Ing. Pavel Šourek,

RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D., Ing. Jozef Frankovský

Grafické zpracování: DTP Martin Pek, nám. T. G. Masaryka 737, 290 01 Poděbrady

Tisk: H.R.G. spol. s r. o., Litomyšl

Foto na obálce: Těžba rubaniny kolovým nakladačem PAUS PFL 12 na stavbě

Kolektor Hlávčův most (foto Subterra a.s.)

Underground Construction (Development, Research, Design, Realization)

Magazine of the Czech Tunnelling Association and the Slovak Tunnelling Association ITA-AITES

Established by Ing. Jaroslav Grán in 1992

CONTENTS

Editorials:

doc. Dr. Ing. Jan Pruška, a member of the Editorial Board 1

Ing. Martin Srb, Ph.D.,

Partner and CEO of 3G Consulting Engineers s.r.o. 2

prof. Ing. Alena Kohoutková, CSc., Dean of the Faculty

of Civil Engineering of the Czech Technical University

and Manager of the CESTI project 3

Development of the Granitztal Tunnel “Chain”

Mgr. Jiří Zmítka, 3G Consulting Engineers s.r.o. 4

Tunel El Volcán – HPP Alto Maipo, Chile

Dr., Ass.-Prof. i. R. Kurt Klima,

3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH 15

Long Transport Tunnels in Indian Himalaya, Finished,

Progressing, in Preparation

Ing. Martin Srb, Ph.D., 3G Consulting Engineers s.r.o. 23

Cesti Research Centre – Application Results

Ing. Petr Bílý, Ph.D., Ing. Marcela Pavlíková, CSc., FSV ČVUT 30

Calculation of Water Vapour in Tunnels

Ing. Michaela Mračková, prof. Dr. Ing. Bořek Patzák,

doc. Ing. Vít Šmilauer, Ph.D., doc. Dr. Ing. Jan Pruška, FSV ČVUT ... 40

Fibre Reinforced Concrete and its Application in Tunnels

prof. Ing. Jan L. Vítek, CSc., FEng. Metrostav a.s.

and FSV ČVUT, Dr. Ing. Petr Vítek, Metrostav a.s. 48

Problems of Internal Environment During

Realisation of Underground Construction

Ing. Jan Klečka, Ing. Jaroslav Synek, Metrostav a.s. 64

Picture Report from CESTI Project Activities 79

The World of Underground Constructions 81

News from Tunnelling Conferences 82

Current News from the Czech and Slovak

Underground Construction 85

From the History of Underground Constructions 90

Czta Working Groups 92

Czech Tunneling Association ITA-AITES Report 93

Ing. Václav Veselý – SG Geotechnika a.s.

Ing. Jan Vintera – Subterra a.s.

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. John A. Hudson – IMPERIAL COLLEGE, UK

Prof. Dimitrios Kolymbas – UNIVERSITY OF INNSBRUCK, Austria

Prof. In-Mo Lee – KOREA UNIVERSITY, South Korea

Prof. Daniele Peila – POLITECNICO DI TORINO, Torino, Italy

Prof. Wulf Schubert – GRAZ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Austria

Prof. Ove Stephansson – GFZ Potsdam, Germany

Prof. Walter Wittke – WBI GmbH, Germany

PUBLISHED FOR SERVICE USE

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

DISTRIBUTION

ITA-AITES Member Nations

ITA-AITES EC members

CzTA and STA corporate and individual members

external subscribers and obligatory issues for 35 libraries and other subjects

OFFICE

Dělnická 12, 170 00 Praha 7, tel./fax: +420 266 793 479

e-mail: pruskova@ita-aites.cz

web: http://www.ita-aites.cz

Editor-in-chief: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.

Technical editors: doc. Dr. Ing. Jan Pruška, Ing. Pavel Šourek,

RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D., Ing. Jozef Frankovský

Grafic designs: DTP Martin Pek, nám. T. G. Masaryka 737, 290 01 Poděbrady

Printed: H.R.G. spol. s r. o., Litomyšl

Cover photo: PAUS PFL 12 wheeled loader loading muck in the Hlávčův

Bridge utility tunnel under construction (foto courtesy of Subterra a.s.)

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

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

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

AMBERG Engineering Brno, a.s.
Ptašínského 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

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

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

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

Fakulta dopravní ČVUT v Praze
Konviktská 20
110 00 Praha 1

Fakulta stavební ČVUT v Praze
Thákurova 7
166 29 Praha 6

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR
Čerčanská 12
140 00 Praha 4

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

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

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

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

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

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

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

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

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

UNIVERZITA PARDUBICE
Dopravní fakulta Jana Pemera
Studentská 95
532 10 Pardubice

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

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

VIS, a.s.
Bezová 1658
147 01 Praha 4

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

STA:

Čestní členovia:

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

Členské organizácie:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

GEOSTATIK spol. s r. o.
Kragujevská 11
010 01 Žilina

HOCHTIEF CZ a.s.
org. zložka Slovensko
Miletičova 23
821 09 Bratislava

IGBM, s. r. o.
Chrenovec 296
972 32 Chrenovec-Brusno

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

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

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

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

Niedax, s.r.o.
Pestovateľská 6
824 04 Bratislava

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

OHL ŽS, a.s., o.z.
Furmanská 8
841 03 Bratislava 47

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

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

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

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

RENESCO, a. s.
Panenská 13
811 03 Bratislava

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

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

SLOVENSKÁ SPRÁVA CIEST
Miletičova ul. 19
826 19 Bratislava

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

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

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

Strabag, s.r.o.
Mlynské Nivy 61/A
825 18 Bratislava

STU, Stavebná fakulta
Katedra geotechniky
Radlinského 11
813 68 Bratislava

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

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

TERRAPROJEKT, a. s.
Podunajská 24
821 06 Bratislava

TUBAU, a. s.
Bytčická 89
010 09 Žilina

TuCon, a. s.
K cintorínu 63
010 04 Žilina - Bánová

TUNGUARD, s.r.o.
Osloboditeľov 120
044 11 Trstené pri Hornáde

URANPRES, spol. s r. o.
Fraňa Kráľa 2
052 80 Spišská Nová Ves

ÚSTAV GEOTECHNIKY SAV
Watsonova ul. 45
043 53 Košice

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

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

ŽELEZNICE SR
Klemensova 8
813 61 Bratislava

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

Vážené čtenářky a čtenáři časopisu Tunel,

bývá zvykem, že autoři úvodního slova nepíší pouze o tom, co je v čísle periodika obsaženo, ale přidávají i úvahu na aktuální téma, nebo svoji zkušenost či příběh ze života. Nejinak tomu bude i zde, což může znamenat, že někteří z vás přeskochí tento první příspěvek v časopise. Toto číslo našeho časopisu Tunel, časopisu České tunelářské asociace a Slovenskej tunelárskej asociácie, vychází v době po dovolených, kdy většina z nás očekává s určitým napětím, co „druhá“ polovina roku přinese. Co to bude po osobní či profesní stránce skutečně nevím, ale po stránce společenské to budou volby parlamentní a příprava na volby prezidentské. Je skuteností, že v České republice, na rozdíl od Slovenska, trvá ve výstavbě podzemních staveb útlum. Věřím, že bez ohledu na průběh volební kampaně a výsledek voleb se nezapomene na nás tuneláře (myšleno v původním významu slova) a v podzemním stavitelství začnou panovat lepší časy.

Aktuální číslo časopisu Tunel je věnováno společnosti 3G Consulting Engineers s.r.o. a trochu netradičně výzkumnému centru CESTI programu Centra kompetence (projekt č. TE01020168) Technologické agentury ČR. Díky tomu se mohou čtenáři seznámit jednak se zajímavými podzemními stavbami v blízkých i vzdálenějších zemích a jednak s vývojem nových řešení pro hospodárné, spolehlivé a trvanlivé dopravní stavby s minimálními dopady na prostředí, ve kterém žijeme.

Úvodní článek nás zavede do oblasti pohoří Koralpe v Rakousku, kde se buduje tunelový řetězec dlouhý 6 km mezi údolími Lavant a Jauntal jako součást tzv. Koralmské železnice (Koralmabahn). Další článek nás přenesení do oblasti centrálních And v Chile, přesněji asi 70 km na jihovýchod od města Santiago de Chile, u hranic s Argentinou, kde se buduje vodní elektrárna Alto Maipo. Naše „cestování“ po globálním světě podzemních staveb ukončí třetí článek popisující dokončené, budované a připravované dopravní tunely v indických Himálajích ve státech Jammu & Kashmir a Himachal Pradesh.

První článek z pera řešitelů výzkumného centra CESTI představuje široké spektrum činnosti tohoto centra nikoliv pouhým výčtem výzkumných aktivit, ale prostřednictvím výběru konkrétních zajímavých výsledků. Další článek se věnuje stanovení množství kondenzované vody v tunelovém tělese a popisuje použití softwaru vyvinutého autory. Náš „výlet“ do světa velmi rozsáhlých vědecko-výzkumných aktivit zakončuje článek popisující podrobně vláknobeton (působení jednotlivých vláken, postup porušování) a uvádějící příklady jeho aplikace v tunelech. Poslední odborný článek seznamuje čtenáře s vlivem vnějšího městského klimatu na vnitřní teplotu, relativní vlhkost a teplotu rosného bodu v městském tunelu a s významem a vlivem řízeného větrání na vnitřní prostředí tunelu.

Výše nastíněné odborné články jsou doplněny o pravidelné rubriky. Věřím, že budou pro vás uvedené informace zajímavé a přínosné, a že se ke stránkám tohoto čísla časopisu Tunel budete i nadále rádi vracet.

Pěkné čtení časopisu v tištěné či elektronické podobě vám přeje

JAN PRUŠKA, člen redakční rady časopisu Tunel

Dear readers of TUNEL journal,

It is usually a custom that authors of editorials write not only about the content of the journal but also add contemplation on a current theme or their experience or a story from their own lives. So it will be even here. It may mean that some of you will leave this initial journal contribution out. This issue of our TUNEL journal published by the Czech Tunnelling Association and the Slovak Tunnelling Association is published at the time after holidays, when the majority of us expects with certain stress what the second half of the year will bring about. I really do not know what it is going to be from the personal or professional point of view, but from the societal point of view, it will be the parliamentary elections and the preparation for presidential elections. It is the fact that there is currently a check on underground construction in the Czech Republic, as opposed to the Slovak Republic. I believe that, irrespective of the course of the election campaign and the results of the elections, we, tunnel builders, will not be forgotten and better times will come about.

The current issue of TUNEL journal is dedicated to the company of 3G Consulting Engineers s.r.o. and, a little non-traditionally, to the CESTI research centre of the Centre of Competence (project No. TE01020168) of the Technology Agency of the Czech Republic. Owing to this fact, readers can get acquainted not only with interesting underground construction projects in close and more remote countries but also with the development of new solutions for economic, reliable and durable transport-related projects with minimum impacts on the environment we live in.

The initial paper will lead us to the area of the Koralpe mountain range in Austria, where a 6km long chain of tunnels is under construction between the valleys of Lavant and Jauntal as a part of the so-called Koralm rail line (Koralmabahn). The next paper will take us to the area of the Central Andes in Chile, approximately 70km southwest of the city of Santiago de Chile, near the border with Argentina, where the Alto Maipo hydropower scheme is being built. Our “travelling” around the global world of underground construction will be ended by the third paper describing completed, under-construction and under-preparation transport tunnels in the Indian Himalaya in the states of Jammu & Kashmir and Himachal Pradesh.

The first paper written by the researchers of the CESTI research centre introduces a wide range of the activities of this centre, not only by a mere list of research activities but also through a selection of particular interesting results. The other paper dedicates itself to the determination of the amount of condensed water in a tunnel and describes the use of the software developed by the authors. Our “trip” to the world of very extensive scientific-research activities is ended by a paper describing in detail fibre reinforced concrete (the action of individual fibres, the process of breaking up) and presenting examples of its application in tunnels. The last technical paper acquaints the readers with the influence of the outer urban climate on the internal temperature, relative humidity and the dew point temperature inside an urban tunnel and with the importance and influence of controlled ventilation on the internal environment in a tunnel.

The above-mentioned technical papers are complemented by regular columns. I believe that the information contained in this issue will be interesting and contributing for you and you will even further enjoy returning to the pages of this TUNEL journal issue.

I wish you pleasant reading of this journal either in the printed form or the electronic form.

JAN PRUŠKA, Member of the Editorial Board of TUNEL journal



VÁŽENÉ KOLEGYNĚ, VÁŽENÍ KOLEGOVÉ, ČTENÁŘI ČASOPISU TUNEL,

před pěti lety naše společnost změnila rakouského partnera a přejmenovala se na 3G Consulting Engineers s.r.o. Jinak se toho mnoho nezměnilo, především máme v podstatě stejný tým odborníků a také obdobnou náplň činnosti. Zůstáváme malou, mezinárodně působící konzultační a projekční firmou, která se snaží poskytovat svým klientům kvalitní služby v oboru podzemních staveb. Zároveň se ale nadstandardně snažíme přispět ke zvýšení úrovně našeho oboru v České republice. Kromě výzkumných projektů se dlouhodobě aktivně podílíme na činnosti České tunelářské asociace CzTA, jsme členy pracovních skupin Mezinárodní tunelářské asociace ITA, aktivně také spolupracujeme s ČVUT v Praze při vzdělávání mladé generace tunelářských a geotechnických odborníků.

Co se ale výrazně změnilo, je prostředí, ve kterém se nyní pohybujeme. Před pěti lety byla situace na českém tunelářském trhu jiná, a to navzdory probíhajícímu ekonomickému poklesu. Dnes dokončujeme jedinou významnou tunelovou stavbu (Ejpovické železniční tunely) a je před námi v krátkodobé perspektivě prázdné. Přes existující velké dotace z Evropských fondů nejsou naši zadavatelé schopni připravit projekty, které naše dopravní infrastruktura potřebuje. Příčin tohoto stavu je jistě víc, a zdaleka ne všechny ovlivňujeme my, tuneláři. Některé ale ano a je dobré si to uvědomit. Pokud by se podařilo realizovat v posledních desetiletích více tunelových projektů bez negativní publicity, prodloužení termínů, zvýšení nákladů a ovlivnění okolí nepředvídanými událostmi, mohla by být ochota politiků i zadavatelů prosazovat ambiciózní tunelové projekty větší. Takto se v současné době musíme spíše dívat do zahraničí a hledat uplatnění na trzích, které to umožňují.

Výhodou zahraničních projektů je seznámení se s jiným prostředím, technickými i organizačními podmínkami, způsobem práce a řešením problémů. Pokud se podaří pozitivní zkušenosti přenést později do České republiky, realizovat budoucí projekty bez větších problémů, pak je možné doufat v dlouhodobější budoucnost našeho oboru i v České republice. Trasa D pražského metra se jednou stavět bude. Ve střednědobé perspektivě se bude realizovat několik dálničních tunelů na D3, D11, D35. Jejich celková délka je větší, než délka dálničních tunelů postavených od roku 1989. V dlouhodobé perspektivě se na železničních tratích nevyhne dlouhým tunelům na tratích do Německa a na vnitrostátních vysokorychlostních tratích.

Jako stavební inženýři máme jiné poslání než politici, kteří alokují zdroje, a zadavatelé, kteří projekty připravují. Měli bychom, především ve svém dlouhodobém zájmu, prosazovat technicky kvalitní řešení, a to i v případech, kdy to může přinést komplikace při zpracovávání, projednávání, dočasná zdržení a, kromě jiného, i více práce.

Přeji vám dostatek optimismu, víru v budoucnost oboru (který se jinak celosvětově bouřlivě rozvíjí), dostatek projektů, pokud dnes převážně v zahraničí, tak v budoucnu jistě i doma. O některých našich zahraničních projektech (a jejich problémech) se můžete dozvědět podrobnosti v tomto čísle časopisu Tunel a na Tunelářském odpoledni 3/2017.



DEAR COLLEAGUES, TUNNEL READERS,

5 years ago, our company changed its Austrian partner, and renamed to 3G Consulting Engineers s.r.o. Otherwise, it has not changed much, there is the same professional team, as well as the scope of our activities. We remain a small, internationally operating consultants, providing technically sound services to our international and domestic clients. At the same time, however, we are trying to increase the level of tunneling competence in the Czech Republic. In addition to our research projects, we are actively involved in the work of the Czech Tunneling Association CzTA, we are members of the ITA Working Groups, and last but not least, our staff is actively involved in the education of the young generation of tunneling and geotechnical experts at Prague's CTU.

But there are significant changes on domestic market. Five years ago, the situation on the Czech tunnel construction market was different, despite the ongoing economic downturn. Today, we are completing the only significant tunnel construction (Ejpovice Railway Tunnels), and there is not much on the short term horizon. In spite of existing large subsidies from European funds, our contracting authorities are unable to prepare projects, including tunnels, that our transport infrastructure needs. The causes of this state are certainly more, and by far not all of them depend on us, the tunnel professionals. But some of them do, and it's good to realize it. If more tunneling projects have been implemented over the last decades without negative publicity, extended deadlines, cost increases, and impacts to environment, the willingness of both policy makers and clients, to promote more tunnel projects, could be greater. As it is now, we have to look rather abroad, for the projects on open markets.

The advantage of foreign projects is to get acquainted with other environment, technical and organizational conditions, ways of doing things and problem solving. If the positive experience is transferred later to the Czech Republic, to realize future projects without bigger problems, then it is still possible to secure conditions for the long-term future of our industry in the Czech Republic. In the medium term, several D3, D11 and D35 motorway tunnels shall be realized. Their overall length is greater than those built since 1989. In the long run, on long-distance railway connections, we can not avoid long tunnels on the lines to Germany, and on national high-speed lines.

As professionals and "engineers", we have a different mission than the politicians allocating available funds, and the clients preparing the projects. We should, above all in our long-term interest, promote a technically sound solutions, even in cases where it can lead to complications in the preparation process, negotiations, temporary delays and, among other things, more work.

I wish you a lot of optimism, faith in the future of the tunnelling (which is fast developing world wide), enough projects. If today mostly abroad, then in the future also at home. About some of the interesting foreign projects with our involvement (and their problems) you can read in this issue of the Tunel magazine and learn about at the Tunnel Afternoon 3/2017.

ING. MARTIN SRB, PH.D.

partner a jednatel společnosti 3G Consulting Engineers s.r.o.

Partner and CEO of 3G Consulting Engineers s.r.o.

VÁŽENÍ ČTENÁŘI,

dobře fungující dopravní infrastruktura je základní podmínkou konkurenceschopnosti každého vyspělého státu, který postavil základy své ekonomiky na moderní průmyslové výrobě. Dopravní infrastruktura je také základním tématem a jednotícím principem našeho Centra pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu – CESTI (CENTRE FOR EFFECTIVE AND SUSTAINABLE TRANSPORT INFRASTRUCTURE).

Výzkumné centrum vzniklo v roce 2013 na základě veřejné soutěže programu Centra kompetence (projekt č. TE01020168) Technologické agentury ČR, která projekt finančně podporuje. V projektu je zapojeno v současnosti devatenáct subjektů, z toho akademickou sféru zastupují tři stavební fakulty, dále veřejná výzkumná instituce v oblasti dopravy a patnáct podniků, od malých přes střední až po největší. Působí v různých oblastech, ale všechny jsou spojeny problematikou dopravní infrastruktury. Zúčastněné firmy zároveň projekt spolufinancují.

Hlavním cílem nejen našeho Centra kompetence je propojení špičkových výzkumných kapacit s praxí při řešení aktuálních problémů, a tím zároveň účinný přenos vědeckých poznatků k subjektům, které je budou bezprostředně využívat. K pozitivním rysům center patří rovněž maximální zapojování mladých vědecko-výzkumných pracovníků včetně studentů doktorského a magisterského studia, kteří pracují v týmech pod vedením významných odborníků v příslušných disciplínách, což se nám v široké míře daří.

Centrum CESTI tak vytváří výzkumnou platformu pro vývoj nových řešení pro hospodárné, spolehlivé a trvanlivé dopravní stavby s minimálními dopady na prostředí, ve kterém žijeme. Záběr centra je velmi široký: od silničních a kolejových staveb, přes mosty až po tunely, to vše v environmentálních a ekonomických souvislostech ovlivňujících návrh, výstavbu, provoz a údržbu dopravní infrastruktury. Soustřeďuje se na technická řešení pro bezpečné a trvanlivé konstrukce staveb dopravní infrastruktury s dlouhou životností založená na predikci a modelování užitého chování a funkčních charakteristik, včetně možnosti provádění in-situ diagnostiky, vývoj nových vysokohodnotných materiálů s přesně cílenými vlastnostmi, zmenšování závislosti na omezených přírodních zdrojích, snižování energetické náročnosti výstavby pozemních komunikací a zvýšení bezpečnosti silniční dopravy, efektivní využití recyklovaných materiálů a druhotných energetických produktů, hodnocení a řízení nákladů celého životního cyklu staveb (Life Cycle Cost/Assessment Engineering) s důrazem na udržitelnost výstavby a vývoj scénářů pro efektivní dlouhodobou údržbu klíčových staveb dopravní infrastruktury.

Propojením s vlastníky a správci dopravní infrastruktury je přirozeným způsobem zajištěna a kontrolována aktuálnost výzkumných aktivit a využitelnost jejich výsledků.

Centrum usiluje zejména o dosažení aplikačních výsledků, které jsou bezprostředně prakticky ověřovány, hodnoceny a využívány.

Vedení centra velmi pozitivně oceňuje a vyjadřuje vřelé poděkování redakci časopisu Tunel za možnost prezentovat odborné veřejnosti jednak existenci centra a jednak významné výsledky, kterých bylo dosaženo v rámci jeho činnosti. Následující tři články se pokusí představit široké spektrum činnosti centra CESTI nikoliv pouhým výčtem výzkumných aktivit, ale prostřednictvím výběru konkrétních zajímavých výsledků. Představí se tak způsobem, o kterém jsme přesvědčeni, že by mohl zaujmout jednotlivé čtenáře a celou odbornou veřejnost. Zvolili jsme proto výsledky v přehledu, otázku hodnocení rizik v tunelech a způsob využití vláknobetonu ve výstavbě konstrukcí tunelů.

Věříme, že naše centrum také v budoucnu přispěje k vylepšení dopravní infrastruktury, a proto nabízíme své zkušenosti a výzkumné kapacity nejen k pozitivnímu řešení přetrvávajících problémů, ale také k rozpracování nových vizí a trendů včetně digitalizace a robotizace.

**DEAR READERS,**

The well functioning transportation infrastructure is a basic condition for competitiveness of any developed country with the economy founded on modern industrial production. Transportation infrastructure is also a basic topic and unifying principle of our Centre for Effective and Sustainable Transport Infrastructure – the CESTI.

The research centre originated in 2013 on the basis of a public competition organised by the Centre of Competence (project No. TE01020168) of the Technology Agency of the Czech Republic, which supports the project financially. At present, nineteen subjects participate in the project. Of them, there are three civil engineering faculties representing the academic sphere, a public research institution active in the field of transportation and fifteen companies ranging from small ones through medium ones up to the largest. They operate in various areas, but all are interconnected by the problems of the transportation infrastructure. The firms involved at the same time co-finance the project.

The main objective of our Centre of Competence is to interconnect top research capacities with the practice in solving current problems, thus also to provide the effective transfer of scientific knowledge to the subjects which will immediately use it. Among positive features of the centres there is also maximum engaging of young scientific-research workers including Doctoral and Master's degree students, working in teams under the guidance of eminent experts in the respective disciplines. This is a great success for us.

In this way, the CESTI centre creates a research platform for the development of new solutions for economic, reliable and durable transport structures with minimum impacts on the environment we live in. The scope of work of the centre is very wide: from road and railway structures through bridges up to tunnels, all of that in the environmental and economic context influencing the design, construction, operation and maintenance of the transport infrastructure. The work is focused on technical solutions for safe, durable and long-lasting structures of the transport infrastructure based on the prediction and modelling of the utility behaviour and functional characteristics, including the possibility of carrying out in-situ diagnostics, the development of new high-performance materials with precisely targeted properties, diminishing the dependence on limited natural resources, reducing energy intensity of the construction of roads and increasing the safety of road traffic, the effective use of recycled materials and secondary energy products, assessing and managing the costs of the entire life cycle (Life Cycle Cost/Assessment Engineering) with stress put on the sustainability of construction and the development of scenarios for effective long-term maintenance of crucial structures of the transportation infrastructure.

The topicality of research activities and usability of their results is provided and checked in a natural way by means of connections with owners and administrators of transport infrastructure.

The centre strives first of all to achieve application results which are immediately practically verified, assessed and used.

The centre management very positively appreciates and expresses warm thanks to the editors of TUNEL journal for the opportunity to present the existence of the centre and the important results achieved within the framework of its activities to the professional public. The following three papers are intended to introduce the wide range of activities of the CESTI centre not only by a mere list of research activities but also through a selection of interesting results. It introduces itself in the way which, we are convinced, is able to attract individual readers and the whole professional public. For that reason we chose to present the results in the form of a summary, the issue of assessing risks in tunnels and the way of the use of fibre reinforced concrete for tunnel structures.

We believe that our centre will contribute to improving the transport infrastructure even in the future. For that reason we offer our experience and research capacities not only for positive solving persistent problems but also for elaborating new visions and trends, including digitisation and robotisation.

PROF. ING. ALENA KOHOUTKOVÁ, CSC.

*děkanka Fakulty stavební ČVUT
manažerka projektu CESTI*

*Dean of the Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University
Manager of the CESTI project*

VÝSTAVBA TUNELOVÉHO „ŘETĚZCE“ GRANITZTAL DEVELOPMENT OF THE GRANITZTAL TUNNEL “CHAIN”

JIŘÍ ZMÍTOKO

ABSTRAKT

„Tunelový řetězec Granitztal“ (Tunnelkette Granitztal) je druhým nejdelším tunelovým komplexem tzv. Koralské železnice (Koralmabahn), která v budoucnu propojí spolkové země Štýrsko a Korutany a je součástí Adriaticko-Baltického železničního koridoru. Spojuje údolí Lavanttal a Jauntal a přímo navazuje na 32,9 km dlouhý tunel Koralm. Úsek (řetězec tunelů) se skládá z tunelu Deutsch Grutschen (2,6 km), přesýpaného tunelu Granitztal (0,6 km) a tunelu Langer Berg (2,9 km). Tunely jsou realizovány jako dva jednokolejné traťové tunely s propojkami, ražené pomocí NRTM (vyjma tunelu Granitztal). Článek je zaměřen na popis stavby se zaměřením na tunel Deutsch Grutschen, kde již byly ukončeny ražby (kolej č. 1 k 31. 8. 2016 a kolej č. 2 k 17. 10. 2016) a přesýpaný tunel Granitztal. Ražby tunelu Langer Berg jsou v současnosti zhruba v polovině, vzhledem k očekávaným pestrým geologickým podmínkám a geotechnicky problematickým úsekům je tato stavba tématem pro budoucí samostatný článek.

ABSTRACT

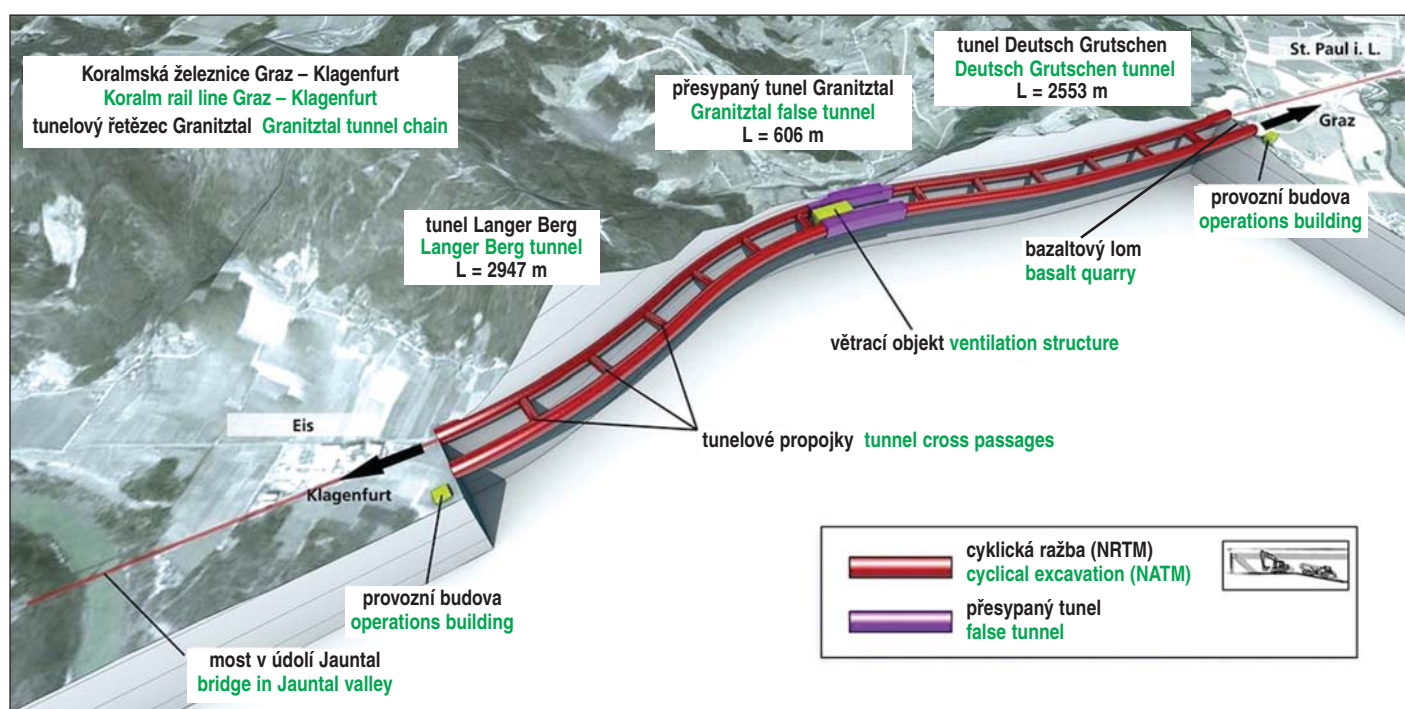
„The Granitztal Tunnel Chain“ (Tunnelkette Granitztal) is the second longest complex of tunnels on the so-called Koralm rail track (Koralmabahn), which will in the future connect the federal states of Styria and Carinthia and which is part of the Adriatic – Baltic rail freight corridor. It connects the Lavanttal and Jauntal valleys and directly continues on from the 32.9km long Koralm tunnel. The tunnelled section (the chain of tunnels) consists of the Deutsch Grutschen tunnel (2.6km), the Granitztal “false” tunnel (0.6km) and the Langer Berg tunnel (2.9km). The tunnels are being realised as two single-track running tunnels interconnected by cross passages. With the exception of the Granitztal tunnel they are driven using the NATM. The paper is focused on the description of the construction, concentrating of the Deutsch Grutschen tunnel, where the tunnel excavation has already been finished (track No. 1 on 31st August 2016 and track No. 2 on 17th October 2016), and the Granitztal false tunnel. The excavation of the Langer Berg tunnel is currently approximately in the middle; with respect to the expected variable geological conditions and geotechnically problematic sections, this construction is the topic for a future independent paper.

1. ÚVOD

Stavba tunelového řetězce Granitztal navazuje v údolí Lavanttal na tunel Koralm (jeho západní úsek KAT3). V údolí Lavanttal bude vybudováno zcela nové nádraží. Na toto nádraží již přímo navazuje tunel Deutsch Grutschen (DG) délky 2,6 km, následuje přesýpaný úsek a přechod potoka Granitzbach v údolí Granitztal délky 0,6 km a tunel Langer Berg (LB) délky 2,9 km, celkem tak vznikne tunel délky 6,1 km (obr. 1).

1. INTRODUCTION

The Granitztal tunnel chain project connects to the Koralm tunnel in Lavanttal valley (its western section KAT3). A completely new railway station will be built in Lavanttal valley. The 2.6km long Deutsch Grutschen (DG) tunnel directly continues on from this station. It is followed by the Granitzbach false tunnel, the passage across the Granitzbach brook in Granitztal valley and the 2.9km long Langer Berg (LB) tunnel. A 6.1km long tunnel will originate in this way (see Fig. 1).



Obr. 1 Přehledná situace celé stavby
Fig. 1 General layout of the entire project

Oblast stavby zahrnuje území jihozápadního okraje údolí Lavanttal, dále trasa prochází přes údolí Granitztal do údolí Drávy (Jauntal). Jsou podcházeny dva hřebety, nevýrazný hřeben Deutsch Grutschen a ostrý, výrazný hřeben Langer Berg (786 m n. m.). Nadloží tunelu DG je max. 142 m, průměrně cca 100 m, maximální nadloží tunelu LB je 347 m.

Investorem stavby je ÖBB Infrastruktur AG. Stavba je realizována sdružením firem Hochtief Infrastructure Austria a Implenia Österreich. Prováděcí projekt je zajišťován sdružením kanceláří iC Consulanten, IGT Geotechnik und Tunnelbau a Amberg Engineering.

Firmy iC Consulanten, IGT Geotechnik a Laabmayr pak zajišťují i přímý stavební a geotechnický dozor (ÖBA). Geologickou a hydrogeologickou dokumentaci provádí sdružení firem 3G Graz a BGG Consult. Geodetická měření v podzemí i na povrchu pak firma Geodata Leoben.

2. STRUČNÝ POPIS STAVBY

Tunely jsou navrženy jako dva jednokolejné tubusy s pevnou jízdní dráhou a s propojkami vzdálenými 500 m. Světlý průřez tunelů je 41,65 m² při ploše výrubu podle geotechnických podmínek 59 až 72,7 m². Délka bloků sekundárního ostění je 12,5 m. S výjimkou bloků v prostoru propojek jsou realizovány jako nevyztužené. Maximální návrhová rychlost je 250 km/h.

Plánované ukončení stavby je v průběhu roku 2020, vlastní uvedení do provozu je pak závislé na navazujících stavbách s předpokladem uvedení do provozu v roce 2022 společně s tunelem Koralm.

3. GEOLOGICKÁ STAVBA

V této kapitole budou popsány hlavní horninové typy přímo související se stavbou.

Během průzkumu bylo pro tunely DG realizováno devět jádrových vrtů, z nichž osm bylo následně vystrojeno jako hydrogeologické.

Trasa tunelů DG byla rozdělena na dva celky, zde nazývané horninové úseky. A to 25 m dlouhý úsek vulkanitů a hornin v jejich kontaktu a zbylý 2575 m dlouhý úsek v granitztalském souvrství. Na toto rozdělení neměla vliv ani přítomnost dvou poruchových zón. K těmto úsekům byly procentuálně stanoveny třídy vystrojení. Pro popis a zařazení horninového masivu nebyla používána žádná klasifikace.

3.1 Geologická stavba – Tunel Deutsch Grutschen – údolí Granitztal

Kvartér

Kvartérní (fluviální) sedimenty se vyskytují v údolí Granitztal. Jedná se o jemnozrnné až střednězrnné jezerní sedimenty („Stauseesedimente“). Převážně jde o plastické až vysoce plastické jílovitoprachovité hlíny s měkkou až tuhou konzistencí s proměnlivým obsahem jemného písku. Místy pak o hlinité písky. Maximální mocnost těchto sedimentů je 25 m. Charakteristickými parametry jsou úhel vnitřního tření 22–27°, soudržnost 5–10 kPa, modul přetvárnosti 10–20 MPa.

Neogén

Údolí Granitztal a Lavanttal jsou vyplněny neogenními (miocén) sedimenty tzv. Granitztalské a Lavanttalské pánve (Granitztaler, Lavanttaler Becken). Tyto sedimenty tvoří i hřeben Deutsch Grutschen.

Granitztalské souvrství je tvořené slabě zpevněnými prachovci, pískovci a slepenci respektive nepravidelným střídáním těchto hornin. Místy (vlivem tektonického porušení, zvětrání nebo

The area of the project comprises the south-western edge of Lavanttal valley, continues across Granitztal valley to the Drava River valley (Jauntal). Two mountain ridges are being passed under, the indistinctive Deutsch Grutschen ridge and the steep and distinctive Langer Berg ridge (786m a. s. l.). The maximum DG tunnel overburden is 142m high, ca 100m on average; the maximum LB tunnel overburden is 347m high.

The project owner is ÖBB Infrastruktur AG. The project is realised by a consortium consisting of Hochtief Infrastructure Austria and Implenia Österreich. The detailed design is provided by a consortium of offices iC Consulanten, IGT Geotechnik und Tunnelbau and Amberg Engineering.

The companies of iC Consulanten, IGT Geotechnik and Laabmayr provide the direct construction and geotechnical supervision (ÖBA). The geological and hydrogeological documentation is carried out by a consortium consisting of 3G Graz and BGG Consult. Survey in the underground and on the surface is carried out by Geodata Leoben.

2. BRIEF CONSTRUCTION DESCRIPTION

The tunnels are designed as two single-track tunnel tubes with a slab track and cross passages spaced at 500m. The net cross-section of the tunnels amounts to 41.65m² at the excavated cross-sectional area ranging from 59 to 72.7m², depending on geotechnical conditions. With the exception of lining blocks in the space of cross passages, the lining is realised as unreinforced concrete structures. The maximum design speed is 250km/h.

The completion of the project is planned to take place during 2020; bringing the tunnels into service depends on connecting projects, with the assumption about the bringing into service in 2020, concurrently with the Koralm tunnel.

3. GEOLOGICAL STRUCTURE

The following chapter will describe the main ground types directly associated with the construction.

Nine cored holes were bored for the DG tunnels during the survey; eight of them were subsequently equipped as hydrogeological boreholes.

The alignment of the DG tunnels was divided into two blocks named “ground sections” in this paper, the 25m long section formed by volcanites and rock types on their contact and the remaining 2575m long section passing through the Granitztal Formation. Nor the presence of two weakness zones affected this division. The percentage of excavation support classes was determined for these sections. No classification was used for the description and classification of the ground mass.

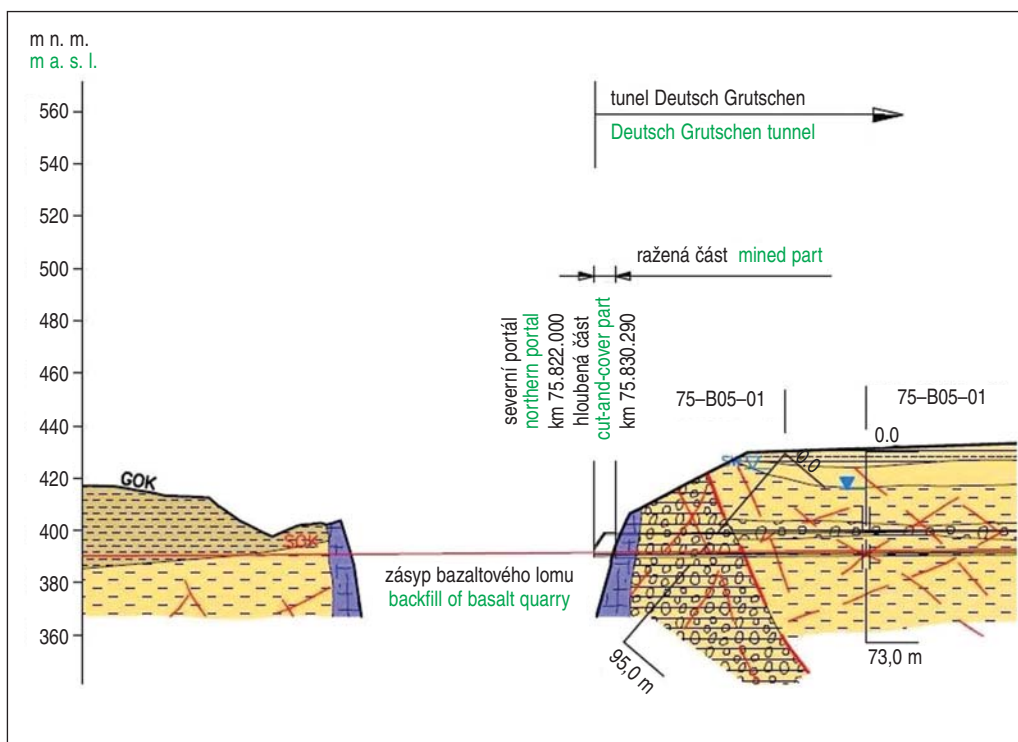
3.1 Geological structure – the Deutsch Grutschen tunnel – Granitztal valley

The Quaternary period

Quaternary (fluvial) sediments are encountered in Granitztal valley. They are fine-grained to medium-grained lacustrine deposits („Stauseesedimente“). They are mostly formed by plastic to highly plastic clayey-silty loams with soft to stiff consistency and variable content of fine sand, locally loamy sand. The maximum thickness of the sediments amounts to 25m. The angle of internal friction of 22–27°, cohesion of 5–10kPa, modulus of deformation of 10–20MPa are the characteristic parameters.

The Neogene period

Granitztal and Lavanttal valleys are filled with Neogene (Miocene epoch) sediments of the so-called Granitztal and Lavanttal basin (Granitztaler, Lavanttaler Becken). Even the Deutsch Grutschen Ridge is formed by these sediments.



Obr. 2 Výřez z podélného řezu tunelu Deutsch Grutschen, vytěžený bazalt (fialová), monotónní, granitztálské souvrství (světle žlutá)

Fig. 2 Cutout from the longitudinal section through the Deutsch Grutschen tunnel, the extracted basalt (violet), monotonous, Granitztal Formation (light yellow)

slabě zpevněných poloh) se tyto horniny nacházejí i ve formě původních sedimentů – šterky, písky a jemnozrné sedimenty.

Vlivem vulkanické činnosti na rozhraní miocénu a pliocénu došlo v údolí Lavanttal u osady Hundsorf ke vzniku čedičového sopečného komínu, který prochází granitztálské vrstvy. Čedič (bazalt) byl historicky prakticky vytěžen jako stavební kámen. Z lomu zůstaly pouze obvodové skalní stěny tvořící jakýsi přírodní amfiteátr. V této geologicky nejzajímavější části je situován severní portál tunelů Deutsch Grutschen (obr. 2, 3, 4, 7).

Průměr čedičového sopečného komínu je na úrovni terénu cca 150 m až 200 m. V minulosti byl vytěžen zhruba do hloubky 40 m pod současný terén a následně zatopen. Prakticky svislé stěny lomu jsou vysoké cca 30 m. Tloušťka zbytkové stěny lomu je proměnlivá. Místa již vystupují skrz „okna“ přeměněné sedimenty, jinde je tloušťka čediče do 10 m (obr. 4).



Obr. 3 Pohled na vytěžený bazaltový sopečný komín, budoucí severní portál tunelů DG, světlé stěny ohraničují původně zatopenou část

Fig. 3 A view of the extracted basalt chimney, the future northern portal of the DG tunnels, light walls forming the boundary of the originally inundated part

The Granitztal Formation is formed by weakly weathered siltstone, sandstone and conglomerates or irregular alternation of these rocks. Locally (due to tectonic faulting, weathering or weak solidification), these rocks are even in the form of the original sediments – gravel, sand and fine-grained sediments.

A basalt chimney passing through the Granitztal layers originated due to volcanic activities at the interface of the Miocene and Pliocene epochs in Lavanttal valley near the village of Hundsorf. The basalt was historically practically completely extracted as building stone. Only the peripheral walls forming sort of a natural amphitheatre remained from the quarry. The northern portal of the Deutsch Grutschen tunnels is located in this geologically interesting part (see Figures 2, 3, 4 and 7).

The diameter of the basalt chimney on the surface varies

from 250 to 200m. Basalt was extracted in the past up to the depth of 40m under the current terrain surface and was subsequently inundated. The virtually vertical walls of the quarry are ca 30m high. The thickness of the remaining walls of the quarry is variable. Altered rock locally steps out through “windows”, in other places the basalt wall is up to 10m thick (see Fig. 4).

The basalt is broken by nonpersistent fissures; it disintegrates into prismatic to columnar blocks. The unconfined compressive strength amounts to 50–150MPa.

A transition contact zone with thermally altered sediments, characteristically named „gefrittete Sedimente“ (fried sediments) originated at the contact with the basalt (see Fig. 4).

The massive, locally bedded rock solidified by thermal effects on contact with basalt gradually pass into weakly solidified sediments (conglomerates) of the Granitztal Formation.



Obr. 4 Detail kontaktu čediče s tepelně zpevněnými slepenci, tunel DG1
Fig. 4 A detail of the contact of basalt with thermally solidified conglomerates, tunnel DG1



Obr. 5 Detail vyhlazené plochy v tunelu DG1 TM 1419
Fig. 5 A detail of a slickensided surface in the DG1 TM 1419 tunnel

Čediče jsou rozpukané neprůběžnými puklinami, rozpadavé na prismatické až sloupcovité bloky. Pevnost horninového materiálu v prostém tlaku je 50–150 MPa.

Na kontaktu s čedičem došlo ke vzniku přechodové kontaktní zóny s tepelně přeměněnými sedimenty, příznačně nazvané „gefrittete Sedimente“ (smažené sedimenty) (obr. 4).

Masivní, místy vrstevnaté horniny zpevněné tepelnými účinky na kontaktu s čedičem postupně přecházejí ve slabě zpevněné sedimenty (slepence) granitztalských vrstev. Litologicky se jedná převážně o slepence s vložkami prachovců a pískovců. Slepence jsou polymiktní, zaoblené s valouny o průměru do 40 cm. Pevnost v prostém tlaku je 10–100 MPa. Zóna tepelné přeměny dosahuje zhruba 50 až 55 m od portálu.

Zbývající ražby probíhaly v sedimentech granitztalského souvrství. Převážně subhorizontálně uložené souvrství je charakteristické nepravidelným střídáním hrubozrnných a jemnozrnných poloh. Jedná se o:

Hrubozrnné, polymiktní slepence s valouny do velikosti 50 cm s pevností od 0,5 do 10 MPa. Místy s polohami s vyšším obsahem vápenatého tmelu ve formě několik decimetrů mocných poloh a čoček s pevnostmi 10 až 50 MPa.

Prachovce a pískovce, masivní až vrstevnaté jemnozrnné až střednězrnné horniny s pevností 0,5 a 10 MPa a s lokálními pevnějšími polohami s pevnostmi do 70 MPa.

Přechody mezi písčitými a prachovitými polohami jsou místy plynulé bez zřetelných přechodů. Orientace spádnice vrstevnatosti k severozápadu (průměr celé trasy 330/10°) se s výjimkou poruchových zón výrazně nemění.

Prakticky monotónní podmínky byly narušovány pouze lokálními tektonickými zónami, kdy docházelo zejména k vyjždění bloků horniny po vyhlazených plochách. Nejvýraznější problémy pak způsobovaly plochy orientované paralelně s čelbou se strmým sklonem, způsobující největší problémy (obr. 5). Tyto strmé plochy souvisí s tzv. Lavantalským poruchovým pásmem, které je zastiženo ražbou tunelu Koralm na úseku KAT3.

V jiných případech poruchy pouze oddělovaly jednotlivé polohy horniny různé zrnitosti bez zásadního vlivu na stabilitu čelb (obr. 6).

3.2 Hydrogeologie

I přes relativně propustné horniny se hornonový masiv choval jako puklinově propustné prostředí. Během ražeb nedocházelo k výrazným přítokům vody do výrubu. Nejčastější přítoky se

From the lithological point of view, they comprise mostly conglomerates with siltstone and sandstone interbeds. The agglomerates are polymictic boulders up to 40cm in diameter. The unconfined compressive strength varies from 10 to 100MPa. The thermal alteration zone reaches approximately 50 to 55m from the portal.

The remaining tunnel excavation passed through the Granitztal Formation sediments. The predominantly subhorizontal bedding is characterised by irregular alternation of coarse-grained and fine-grained layers. They comprise:

Coarse-grained, polymictic agglomerates containing boulders up to 50cm, with the strength ranging from 0.5 to 10MPa. Locally with layers with higher content of calcareous cement in the form of several dm thick layers and lenses with the strength of 10 to 50MPa.

Siltstone and sandstone, massive up to bedded fine-grained to medium-grained rock with the strength ranging from 0.5 to 10MPa and local stronger layers with the strength up to 70MPa.

The transition between sandy and silty layers is locally fluent without distinct changes. With the exception of the shear zones, the north-western orientation of the maximum bedding slope line (the average of the entire route 330/10°) did not significantly change.

Virtually monotonous conditions were disrupted only by local shear zones, where rock blocks slipped out along slickenside planes. The most significant problems were caused by planes oriented in parallel with the steeply inclined excavation face (see Fig. 5). These steep planes are associated with the so-called Lavantaltal shear zone, which was encountered by the Koralm tunnel excavation in section KAT3.

In other cases the faults only divided individual layers of rock with different gradation, without principally influencing the stability of excavation faces (see Fig. 6).

3.2 Hydrogeology

Despite relatively permeable ground types, the massif behaved as a fissure permeable environment. No significant inflows of water into the excavation appeared during the excavation. The most frequent inflows manifested themselves as locally wet locations and virtually immeasurable inflows were the maximum. The majority of headings were completely without any inflow. Wet and dropping places appeared on the lining or in the vicinity of rock bolts with a time lag of several days.

The water table and its response to the excavation were regularly monitored by measuring the water table in boreholes. The influence of the excavation was proved only in the closest boreholes. Here the water table dropped up to 20m. This significant lowering of water table in boreholes in essence did not correspond to the small amount of water flowing into the tunnels.

Measurements in the boreholes and the minimum inflows into the tunnels proved the fact that the ground massif is divided by tectonic faults into relatively small blocks. Owing to the impermeable smooth sliding planes with clayey coating, the blocks do not significantly hydrogeologically communicate.

Apart from the above-mentioned facts, it also means that tectonic faulting does not have to mean increased risk of inflows into the excavation, just the opposite. Even a minute amount of water in the locations of tectonic faults caused significant increase in the instability of the excavation face.

A new thing used on the entire Koralmbahn project was the documentation of water inflows (even wet spots) manifesting themselves on the surface of the primary lining. Water samples were in addition taken for the purpose of detecting a potential for the creation of sinter. The reason is an effort to obtain as much

projevovaly jako lokální vlhká místa, maximálně docházelo k prakticky neměřitelným přítokům. Většina čeleb byla zcela bez jakýchkoliv přítoků vody. Vlhká a kapající místa se objevovala s odstupem několika dní na ostění nebo v okolí svorníků.

Hladina podzemní vody a její reakce na výrub byla pravidelně sledována měřeními hladiny ve vrtech. Vliv ražby se prokázal pouze v nejbližších vrtech. Zde došlo k poklesům hladin, které dosahovaly až 20 m. Tyto výrazné poklesy hladin ve vrtech v podstatě neodpovídaly malému množství vody, které přitékalo do tunelů.

Měření ve vrtech a minimální přítoky do tunelů tak prokázaly skutečnost, že horninový masiv je rozdělen tektonickými plochami na relativně malé bloky. Díky nepropustným, vyhlazeným kluzným plochám s jílovitoprachovitým povlakem pak spolu tyto bloky hydrogeologicky nijak výrazně nekomunikují.

Mimo uvedené skutečnosti to však také znamená, že tektonické porušení nemusí znamenat zvýšené riziko přítoků do výrubů, ale naopak. V místech tektonických poruch pak i nepatrné množství vody způsobovalo výrazný nárůst nestability čelby.

Novinkou použitou na celé Koralmbahn pak byla dokumentace přítoků (i vlhkých míst) vody projevujících se na líci primárního ostění. Rovněž byly odebírány vzorky vody za účelem zjištění potenciálu k tvoření sintrů. Důvodem je snaha získat ještě bezprostředně po ražbách co nejvíce informací o budoucím zatížení drenážních systémů, eventuálně provést jejich úpravu ještě během stavby.

4. TUNEL DEUTSCH GRUTSCHEN

Ražby tunelu Deutsch Grutschen byly zahájeny 15. 4. 2015 (DG1) a 3. 5. 2015 (DG2) a ukončeny 31. 8. 2016, respektive 17. 10. 2016. Betonáže definitivního ostění byly zahájeny bezprostředně po ukončení ražeb.

4.1 Severní portál

Severní portál navazuje na budoucí nádraží Lavanttal. Je situován do bývalého čedičového lomu (obr. 7). Umístění portálu do tohoto lomu přineslo poměrně netradiční situaci, kdy bylo možné zahájení ražeb bez předchozího zajištění portálových stěn. Stěna byla pouze osazena ochrannou ocelovou sítí a periodicky byla kontrolována z plošiny, zda nedochází k uvolňování horniny.



Obr. 6 Tektonická porucha oddělující slepence (pravá strana) a písčité prachovce v granitztalských vrstvách

Fig. 6 Tectonic fault dividing conglomerates (right-hand side) and sandy siltstone in Granitztal layers

information as possible about the future loading on drainage systems immediately after the excavation or to carry out changes still during the construction.

4. DEUTSCH GRUTSCHEN TUNNEL

The Deutsch Grutschen (DG) tunnel excavation commenced on 15th April 2015 (DG1) and 3rd May 2015 (DG2) respectively. It was finished on 31st August 2016 and 17th October 2016, respectively. The casting of the final lining concrete started immediately after the completion of the excavation.

4.1 Northern portal

The northern portal connects to the future Lavanttal railway station. It is located into a former basalt quarry (see Fig. 7). Locating the portal into this quarry brought in a relatively non-traditional situation, where it was possible to commence the excavation without preceding stabilisation of portal walls. The wall was only covered with protective steel mesh and was periodically checked from a lifting platform whether the rock loosening process does not take place.

4.2 Southern portal

The southern portal of the DG tunnel emerges in Granitztal valley in the area of the existing road. The Granitztal false tunnel follows behind the portal.

The portal is designed to be in a sloped construction pit with the slopes in the upper part and the bottom part reposing at 1:1 and 4:1, respectively (in agreement with the client the bottom part was realised practically vertically). The slopes are in addition stabilised by an anchoring system (IBO) with anchors 4m and 8m long. Three tiers of cable anchors 38, 32 and 26m are installed in the bottom part. Their roots are 8m long. They are drilled on a 25° incline and are designed for 1200kN (see Fig. 8).

4.3 Mined tunnels

The tunnels were driven according to the principles of the NATM, on a top heading, bench and invert sequence (the so-called horizontal division of the excavation face). The excavation support classes (here referred to as „Systemverhalten“) are divided for the entire project according to geological blocks; classes “Neogene 1 to 6” are designed for the DG tunnels. The LB tunnels are assigned classes “Neogene (N) and Permomesozoic (PM)”.

Individual classes are designed in a minimal variant and a maximal variant; in this way the range of the support elements within the framework of a class is defined.

The tunnel excavation is controlled according to “excavation support schemes” (Ausbaufestlegung), taking into consideration the actually encountered geotechnical conditions. The support elements are exactly prescribed within the framework of individual classes, depending on the current situation.

The excavation support schemes are determined by the construction supervisor (the engineer responsible for the excavation, the NATM engineer) after they are agreed by the geologist and the geotechnician.

The following scope of the support classes was expected for the DG tunnels: 1/N 19%, 2/N 21%, 3/N 42%, 4/N 15%, and 5/N and 6/N classes for the rest.

The top heading was excavated in an advance ranging from 60 to 130m, depending on geotechnical conditions, whilst the design allowed for the range of 8 to 130m, depending on the excavation support class.

The invert is designed and carried out at all excavation support classes. “Flat” bottom 1.8m deep in relation to the top of rail is designed for excavation support classes 1/N through to 3/N;

4.2 Jižní portál

Jižní portál tunelu DG vychází v údolí Granitztal v prostoru stávající komunikace. Na portál následně navazuje přesýpaný tunel Granitztal.

Portál je navržen ve svahované jámě se sklonem v horní části 1:1 a ve spodní části 4:1 (během hloubení byla po dohodě spodní část realizována prakticky svisle). Svahy jsou navíc zajištěny systémovým kotvením (IBO) s délkami kotev 4 a 8 m. Ve spodní části jsou umístěny tři řady lanových kotev délek 38, 32 a 26 m s délkou kořene 8 m vrtané ve sklonu 25°, dimenzované na 1200 kN (obr. 8).

4.3 Ražené tunely

Tunely byly raženy podle zásad NRTM s horizontálním členěním výrubu na kalotu, opěří a dno. Třídy výrubu (zde označované jako „Systemverhalten“) jsou pro celou stavbu rozděleny podle geologických celků, pro tunely DG jsou navrženy třídy „Neogen 1 až 6“. Tunely LB mají třídy „Neogen (N) a Permomesozoikum (PM)“.

Jednotlivé třídy jsou navrženy ve variantě minimální a maximální, čímž je definován rozsah prvků výstroje v rámci třídy.

Podle skutečně zastižených geotechnických podmínek se pak ražby řídí „schémata vystrojení“ (Ausbauaufestlegung). Zde jsou v rámci jednotlivých tříd přesně stanoveny vystrojovací prvky podle aktuální situace.

Schémat vystrojení jsou stanovena stavebním dozorem (inženýrem odpovědným za ražby – NRTM inženýr), po dohodě s geologem a geotechnikem.

Pro tunely DG byl předpokládán rozsah tříd SVT 1/N 19%, 2/N 21%, 3/N 42%, 4/N 15%, zbytek 5/N a 6/N.

Kalota byla ražena s předstihem podle geotechnických podmínek v intervalu od 60 do 130 m. Přičemž projekt umožňoval rozsah podle třídy výrubu 8 až 130 m.

Ve všech třídách výrubu je navržena a realizována protiklenba. Pro třídy SVT 1/N až 3/N „ploché“ dno s hloubkou 1,8 m vůči temeni kolejnice, pro vyšší třídy pak „hluboké“ dno s hloubkou 2,3 m vůči temeni kolejnice.

Propojky byly vždy zahájeny z v předstihu raženého tunelu a následně proráženy z druhého tunelu, přičemž prorážka probíhala výhradně zhruba uprostřed pilíře mezi tunely. Následovalo uzavření dna propojek a napojení na tunely.

4.3.1 Ražby

Ražby byly zahájeny ze severního portálu. Oproti většině staveb byla nejllehčí třída výrubu (SVT 1/N) použita v oblasti portálu (obr. 9), což bylo umožněno pevnou bazaltovou stěnou.

Základními charakteristikami třídy SVT 1/N byl postup 2,2 m, drátkobeton, lokální kotvení. Ražba v této třídě však probíhala pouhých 5 m.

Se změnou litologie došlo k přechodu na třídu vystrojení SVT 2/N a oproti předpokladům proběhl zbytek ražeb (tedy více než 99 %) v této třídě (obr. 10 a 11).

Z příčných řezů je evidentní, že v rámci jedné vystrojovací třídy byla ponechána výrazná variabilita v možnosti využití jednotlivých vystrojovacích prvků. Poměrně neobvyklá je zejména možnost použití jedné nebo dvou vrstev sítě. Neměnná zůstala pouze délka záběru 1,7 m v kalotě, respektive 3,4 m v opěří a dně.



Obr. 7 Pohled na severní portálovou stěnu tunelů Deutsch Grutschen, 05/2017

Fig. 7 A view of the northern portal wall of the Deutsch Grutschen tunnels, 05/2017

“deep” bottom with the depth of 2.3m in relation to the top of rail is designed for the higher classes.

The excavation of cross passages always started in advance of the mined tunnel excavation and subsequently the passages were broken through from the second tunnel. The breakthrough was carried out exclusively approximately in the middle of the rock pillar between the tunnel tubes. The closing of the cross passage bottom and connecting it to the tunnel tubes followed.

4.3.1 Tunnel excavation.

The tunnel excavation started from the northern portal. In contrast to the majority of construction sites, the easiest excavation support class (1/N) was used in the portal area (see Fig. 9). It was possible owing to the firm basalt wall.

The basic characteristics of the excavation support class 1/N comprised the advance round length of 2.2m, steel fibre reinforced concrete and local anchoring. The excavation in this class continued only for 5m.

With a change in the lithology, the excavation support class was changed to class 2/N and, in contrast with the assumptions, the remaining excavation (over 99%) was carried out in this class (see Figures 10 and 11).

It is evident from cross-sections that significant variability in the possibility of using individual excavation support elements was left within the framework of one support class. Relatively unusual is mainly the possibility of using either one or two layers of welded mesh. Only the advance round length of 1.7m in the top heading and 3.4m in the bench and the bottom remained invariable.

The average excavation rate of 6 rounds (10.2m) per 24 hours was reached in the top heading with this excavation support.

A short counter-heading of the DG2 tunnel started from the southern portal and was also categorised as class 2/N. Only the tunnel top heading was additionally protected by a 15m long tube canopy.

The other support classes, the use of which was planned for the locations of shear zones, were no more designed with such the significant variability. From class 2/N on they differed mainly by greater thickness of shotcrete, the application of welded mesh AQ 60 (6/100x6/100), greater number and length of rock bolts, the division of the excavation face into more excavation sequences, reduced length of the excavation round and the distance between the top heading excavation and the already closed profile. A common character of all classes is the omission of the top heading crown anchoring system (radial).

The application of 100mm welded mesh size can be assessed as trouble-free from the aspect of the risk of low quality of spraying



Obr. 8 Pohled na jižní portálovou stěnu tunelů DG
Fig. 8 A view of the southern portal wall of the DG tunnels

S tímto zajištěním bylo v kalotě průměrně dosahováno šest záběrů za 24 h, tedy 10,2 m.

Ve třídě SVT 2/N byla zahájena i krátká protiražba tunelu DG2 z jižního portálu. Pouze přístropí tunelu bylo dodatečně chráněno mikropilotovým deštníkem délky 15 m.

Ostatní vstrojovací třídy, jejichž využití bylo plánováno v místech poruchových zón, již nebyly navrženy s tak výraznou variabilitou. Od třídy SVT 2/N byly odlišné zejména větší tloušťkou stříkaného betonu, použitím sítí AQ 60 (6/100x6/100), větším počtem a délkou svorníků, rozdělením čelby na více dílčích výrubů, zkrácením záběru a odstupu kaloty od uzavřeného profilu. Společným znakem všech tříd je pak vynechání systémového (radiálního) kotvení stropu kaloty.

Použití sítí s oky 100 mm lze z hlediska rizika nekvalitního prostříkání sítí betonem hodnotit jako bezproblémové. Tyto typy sítí s malým průměrem drátu lze uvažovat jak z hlediska manipulace, tak i kvality nástřiku ostění jako alternativu k sítím s oky 150 mm. Na vznik „stínů“ ve stříkaném betonu má tedy mimo velikosti oka zásadní vliv i průměr drátu.

Tunel DG1 byl proražen přímo do portálové stěny, z níž byl rovněž navrtán mikropilotový deštník.

4.4 Betonáže definitivního ostění

V současné době probíhají betonáže definitivního ostění. Celkem 12,5 m dlouhé bloky jsou s výjimkou propojek realizovány jako nevyztužené s tloušťkou 30 cm. V současné době ještě probíhají zkoušky použití drátkobetonu pro bloky s napojením na propojky. V případě pozitivního výsledku pak bude

the concrete through the mesh. These types of mesh with a small diameter of wire can be considered both from the aspect of handling and the quality of the sprayed lining as an alternative to the 150mm meshes. It means that the origination of shadows in sprayed concrete is crucially influenced not only by the size of meshes, but also by the diameter of the wires.

The DG1 tunnel was broken directly through the portal wall, which the holes for the canopy tube support were drilled from.

4.4 Casting of final lining concrete

Casting of final lining concrete is currently underway. The 12.5m long casting blocks are, with the exception of blocks at cross passages, realised as 30mm thick non-reinforced structures. At the moment, testing of the use of steel

fibre reinforcement for blocks containing the connections to cross passages is underway. In the case of a positive result, the classical reinforcement of these blocks will be abandoned. No safety recess are realised throughout the tunnel route length.

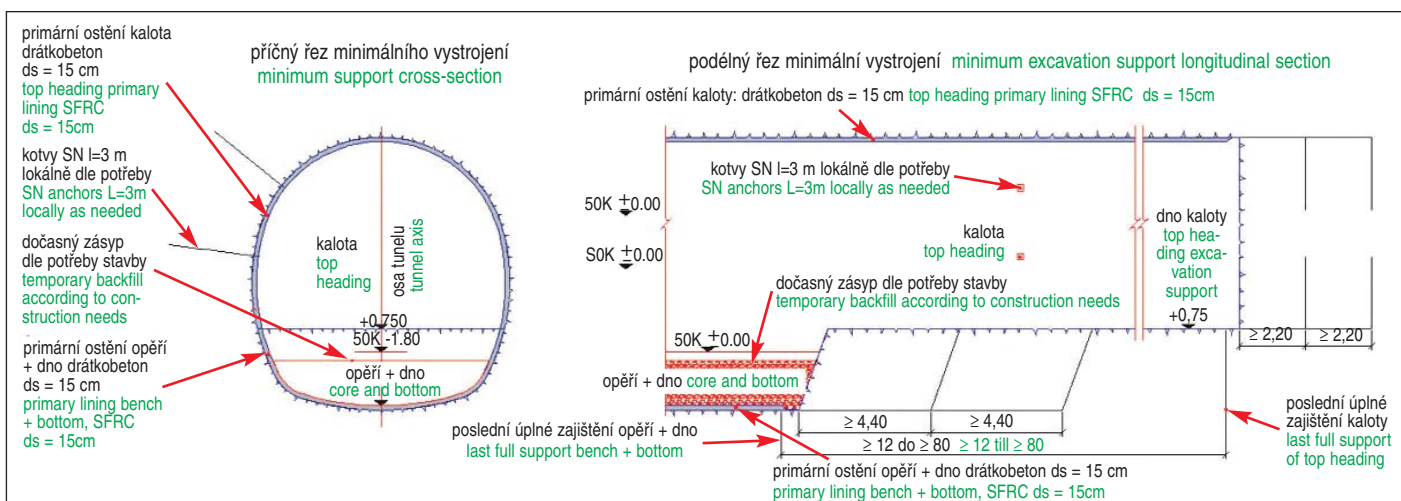
In contrast to the custom existing in the Czech and Slovak Republics, concrete is cast in an alternating pattern (see Fig. 12). This system originated on the basis of project owner's requirement. The reason is the effort to restrict the pressure action of a freshly stripped block on the previously realised block. This system eliminated the development of cracks.

A novelty lies in the introduction of a new system of cleaning the drainage, the so-called MDB-System (Modulares Drainagespuelsystem Bahn). This new solution allows for cleaning drains without a necessity for significant restriction on the tunnel operation. The solution is based on placing central manholes into cross passages. It is then possible to clean respective sections of drains without necessity for restricting the train traffic in the tunnel. This system is concurrently being developed and introduced in the Semmering and Pummersdorf tunnels.

5. GRANITZTAL FALSE TUNNEL

Environmental reasons led to the selection of the variant of covering the track section running along the Granitztal valley with ground. This part will even contain the future ventilation structure.

The process of overcoming the valley comprises several interesting technical solutions, which are associated first of all with



Obr. 9 Třída vstrojení SVT 1/N, průřez a podélný řez
Fig. 9 Excavation support class 1/N, cross-section and longitudinal section

upuštěno od klasické výztuže těchto bloků. V celé trase nejsou realizovány záchranné výklenky.

Oproti zvyklostem v ČR/SR probíhá betonáž vždy ob jeden blok (obr. 12). Tento systém vznikl z požadavku investora. Důvodem je omezení tlakového působení čerstvě odbedněného bloku na již dříve realizovaný blok, čímž je eliminován vznik trhlin.

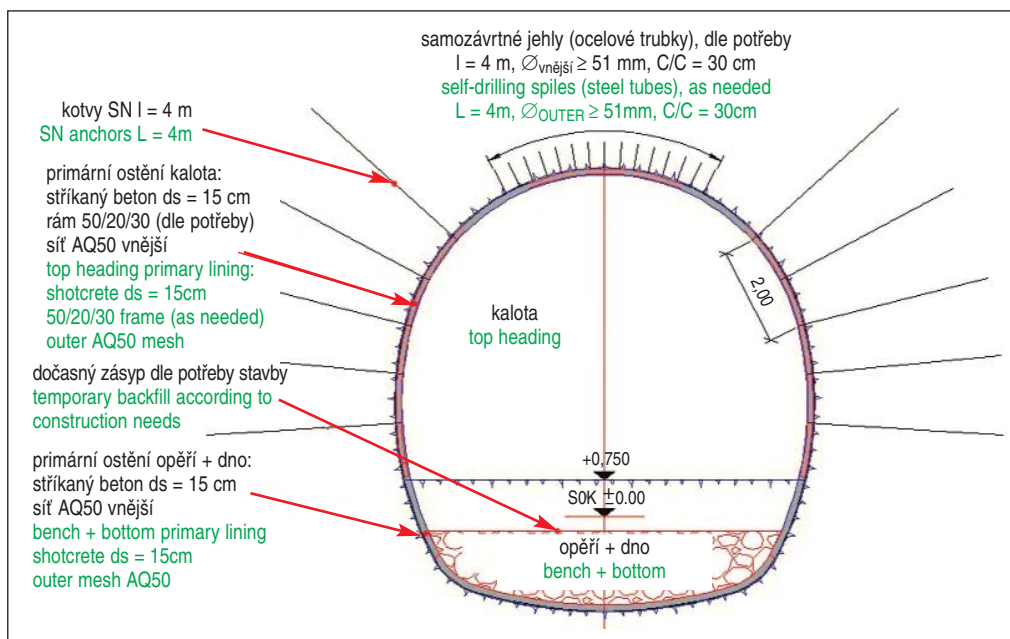
Novinkou je pak nasazení nového systému čištění drenáží, tzv. MDB-System (Modulares Drainagespuelsystem Bahn). Toto nové řešení umožňuje čištění drenáží bez nutnosti výrazného omezení provozu v tunelu. Základem řešení je umístění centrální čisticí šachty do tunelových propojek. Z tohoto místa je pak možné čištění příslušných úseků drenáží bez nutnosti omezení provozu v tunelu. Tento systém je současně vyvíjen a zaváděn na tunelech Semmering a Pummersdorf.

5. PŘESYPANÝ TUNEL GRANITZTAL

Z ekologických důvodů byla zvolena varianta přesypání úseku vedeného údolím Granitztal. V této části bude umístěn i budoucí vzduchotechnický objekt.

Překonání údolí zahrnuje několik zajímavých technických řešení, která jsou spojena zejména s přítomností mocné vrstvy jezerních sedimentů a nutností překonat koryto potoka přesypáním tunelem.

Na jižní portál tunelů DG tak postupně navazovaly: první část dočasné deponie plnicí funkci zatěžovacího konsolidační-



Obr. 10 Třída vystrojení SVT 2/N, příčný řez minimální rozsah

Fig. 10 Excavation support class 2/N, cross-section, minimum scope

the presence of a thick layer of lacustrine sediments and the necessity for crossing a brook bed by a false tunnel.

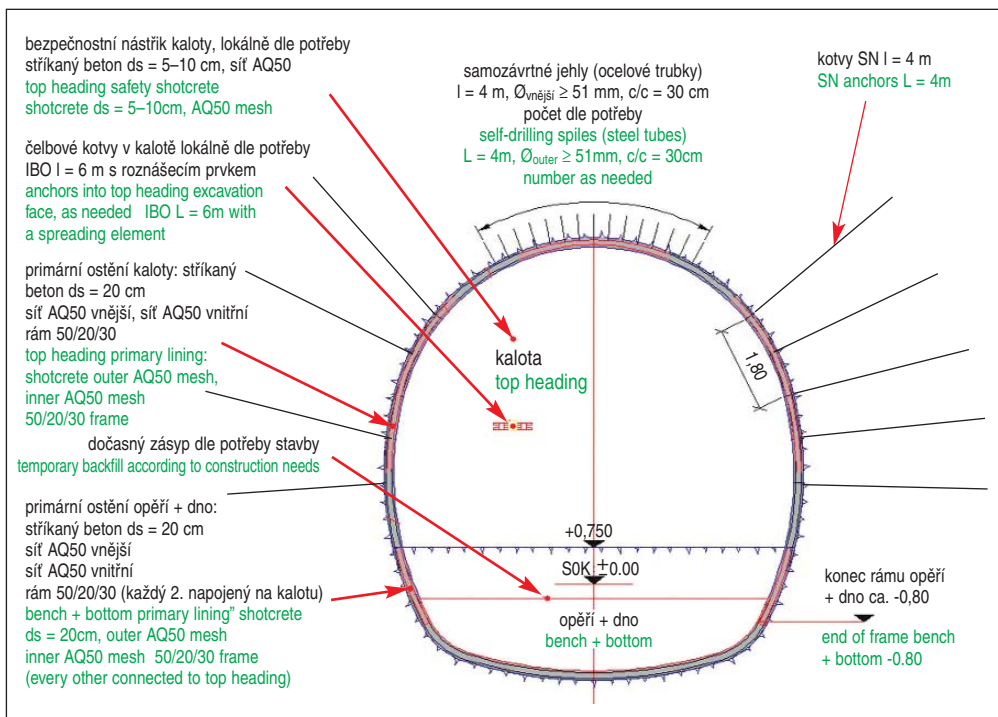
The southern portal of the DG tunnels was step by step followed by the first part of the current temporary stockpile fulfilling the function of a loading-consolidation embankment, the second part of the embankment, the SA1 structure (in substance a bridge for tunnels) and the adjacent portal construction pit for the LB tunnels (see Figures 13 and 14).

About 500,000m³ of material were excavated during the excavation of the portal construction pits. Part of them was used for the creation of 20-30m high consolidation embankments. With respect to unfavourable geomechanical parameters, mainly parameters of the lacustrine sediments, it was necessary mixing them with gravel-sand forming the Granitztal Formation and carry out subsequent lime stabilisation with ca 20kg/m³ of lime. This measure will subsequently contribute even to the following trouble-free disposal of this material.

The construction of the SA1 structure, the "bridge for tunnels" was carried out in a construction pit stabilised by a sheet pile wall. After removing approximately 4m of sediments and replacing them with aggregates, the concrete base slab of the structure containing the brook bed was gradually carried out. Subsequently the concrete of the side walls and the bridges themselves was cast.

After the completion of casting concrete, gravel was transported to the brook bed, the walls of the structure were clad in stone and the brook flow was transferred to the new bed (see Fig. 14).

The blocks of the false tunnel are realised as 10m long and 60cm thick reinforced concrete structures.



Obr. 11 Třída vystrojení SVT 2/N, příčný řez maximální rozsah

Fig. 11 Excavation support class 2/N, cross-section, maximum scope



Obr. 12 Betonáže definitivního ostění
Fig. 12 Final lining concrete casting

ho násypu, druhá část násypu, objekt SA1 (v podstatě most pro tunely) a následně portálová jáma tunelů LB (obr. 13, 14).

Během hloubení portálových jam bylo vytěženo zhruba 500 000 m³ materiálu, část pak byla využita k vytvoření 20–30 m vysokých konsolidačních násypů. Vzhledem k nepříznivým geomechanickým parametrům zejména jezerních sedimentů bylo nutné jejich promíchání se štěrkopísky granitiztálského souvrství s následnou vápennou stabilizací zhruba 20 kg/m³ vápna. Toto opatření posléze přispěje i k dalšímu bezproblémovému uložení tohoto materiálu.

Výstavba objektu SA1, tedy „mostu pro tunely“ byla realizována ve stavební jámě zajištěné štětovou stěnou. Po odtěžení přibližně 4 m sedimentů a jejich nahrazení kamenivem byla postupně vybetonována základová deska objektu s budoucím korytem potoka. Následně byly betonovány boční stěny a vlastní mosty.

Po dokončení betonáže byl do budoucího koryta naveden štěrk, stěny objektu byly obloženy kamenem a do nového koryta byl převeden potok (obr. 14).

Bloky přesýpaného tunelu jsou realizovány jako vyztužené o délce 10 m a tloušťce 60 cm. Betonáž první části navazující na tunel LB byla zahájena po dokončení podkladní desky na jaře 2016. Betonáž byla prováděna pomocí dvou bednicích vozů pro každý tunel a jednoho vnějšího bednění (obr. 15).



Obr. 14 Objekt SA1, „most pro tunely“, 04/2017
Fig. 14 SA1 structure, „bridge for tunnels“, 04/2017



Obr. 13 Údolí Granitztal, portál tunelů DG jih, příprava betonáže bloků přesýpaného tunelu, tunely LB
Fig. 13 Granitztal valley, portal of the DG South tunnels, preparation of casting the concrete blocks of the false tunnel, the LB tunnels

The concrete casting operations in the first part connecting to the LB tunnel commenced after the completion of the base plate in spring 2016. Concrete was cast using two tunnel form travellers for each tunnel and one outer formwork (see Fig. 15).

The gradual covering of the tunnel with ground followed. The construction of the next part connecting to the DG tunnels commenced in spring 2017, after removing the first part of the consolidation embankment.

6. GEOTECHNICAL MONITORING

The observation of the tunnel excavation was divided into a geological part and a geotechnical part. The geotechnical monitoring primarily comprised convergence measurements. No other monitoring equipment was installed in the DG tunnels.

The convergence measurement profiles consisted of seven points (5 points in the top heading and 2 points in the bench). The profiles were spaced at 15m intervals as a standard, but always in a way securing that the zero measurement was carried out immediately after the installation. For that reason the exact spacing of the profiles was not considered crucial. The most important was that the time of the zero measurement after the profile installation was as short as possible. The spacing of the convergence measurement profiles was reduced to 10 to 5m in the areas of weakness zones and cross passages.

The frequency of the convergence measurements was once a day up to the distance of 50m from the excavation face, once in two days up to the distance of 100m and once in a week up to the distance of 150m.

The measurements with the once-a-day frequency in an adequate section of the DG1 tunnel were reinstated during the passage of the DG2 tunnel excavation carried out back at a prescribed distance. The results of convergence measurements were used as a basis for the calculation of the loads acting on the primary lining. At-grade structures, slopes and other structures were measured by surveying (trigonometric survey, precision levelling).

Stresses in anchors were monitored on the southern portal wall of the DG tunnels. The slopes, the pit for the SA1 structure and the surroundings of high voltage columns were monitored apart from surveying even by inclinometers. Noise measurements were carried out in the vicinity of residential buildings.

Následně bylo zahájeno postupné zasypávání tohoto úseku. Výstavba další části navazující na tunely DG byla zahájena na jaře 2017 po odtěžení první části konsolidačního násypu.

6. GEOTECHNICKÝ MONITORING

Sledování ražeb bylo rozděleno na geologickou a geotechnickou část. Geotechnický monitoring sestával primárně z konvergenčních měření. V tunelech DG nebyla umístěna žádná další monitorovací zařízení.

Konvergenční profily byly osazeny jako sedmibodové (pět bodů kalota, dva opěří). Vzdálenost profilů byla standardně 15 m, ale vždy tak, aby bylo zajištěno nulté měření bezprostředně po osazení. Nebyla proto primární přesná vzdálenost mezi profily, ale přesný a co nejkratší čas nultého měření od osazení profilu. V oblasti poruchových zón a propojek byla vzdálenost konvergenčních profilů snížena na 10 až 5 m.

Frekvence měření konvergenčních profilů byla do vzdálenosti od čelby 50 m denně, při vzdálenosti od čelby do 100 m 1x za 2 dny a do vzdálenosti 150 m 1x týdně.

Rovněž při průchodu ražby tunelu DG2 raženého s odstupem byla obnovena měření v tunelu DG1 v příslušném úseku s denní frekvencí. Výsledky konvergenčních měření sloužily jako podklad pro výpočet zatížení primárního ostění. Povrchové objekty, svahy a další konstrukce byly měřeny geodeticky (trigonometrická měření, přesná nivelace).

Na jižní portálové stěně tunelů DG bylo sledováno napětí na kotvách. Svahy, jáma objektu SA1 a okolí patek sloupů VN byly kromě geotechnického měření monitorovány i inklinometry. V blízkosti obytných budov probíhala měření hluku.

Geologické sledování čeléb probíhalo v režimu každodenní dokumentace příslušné čelby. Nebyla tedy nutná dokumentace každé čelby. Dokumentace byla zpracovávána (digitalizována) v programu TUGIS (obr. 16).

Popis čeléb byl založen na popisu litologie, charakteru a parametrů diskontinuit, pevnostních parametrů horniny, chování otevřeného výrubu a vlastní horniny, dokumentaci přítoků vody a fotodokumentaci. Rovněž byly odebírány vzorky hornin a vody pro laboratorní zkoušky a rozborů. Pro popis hornin nebyla používána žádná geotechnická klasifikace horninového masivu. Spolu s dokumentací ražeb byly geologicky sledovány i veškeré svahy stavebních jam a souvisejících objektů.

Denně probíhá tzv. „geotechnická čtvrt hodinka“, kde se probírají a okomentovávají denní výsledky měření, dokumentací a ostatní záležitosti stavby. V případě potřeby pak dochází k úpravám schémat vystrojení, eventuálně k dalším opatřením.

Měsíčně pak probíhají geotechnická jednání v širším obsazení za účasti investora, projektanta, eventuálně dalších osob. Zde jsou



Obr. 15 Betonáž bloků přesypného tunelu

Fig. 15 Casting of concrete blocks of the false tunnel

The geological surveying of the headings proceeded in the regime of the daily documentation of the respective heading. The documentation of each heading was therefore unnecessary. The documentation was processed (digitised) using the TUGIS program (see Fig. 16).

The description of headings was based on the description of the lithology, the character and parameters of discontinuities, strength-related parameters of ground, the behaviour of the open excavation and the ground itself, documentation of water inflows and photo documentation. In addition, specimens of ground and water were taken for laboratory testing and analyses. No classification was used for the description of ground. Even all slopes of construction pits and associated structures were geologically observed together with documenting the headings.

The so-called “Geotechnical quarter-hour”, where daily results of measurements, documentations and other construction matters were discussed and commented, took place every day. If necessary, the excavation support schemes were modified or other measures were agreed.

Geotechnical meetings with wider attendance, in the presence of the project owner, designer or other persons, take place monthly. Results of the measurements, the documentation, the courses of the headings etc. are presented at the meetings in context. An example of an obvious increase in deformations during the passage across one of the shear zones is presented in Fig. 17.

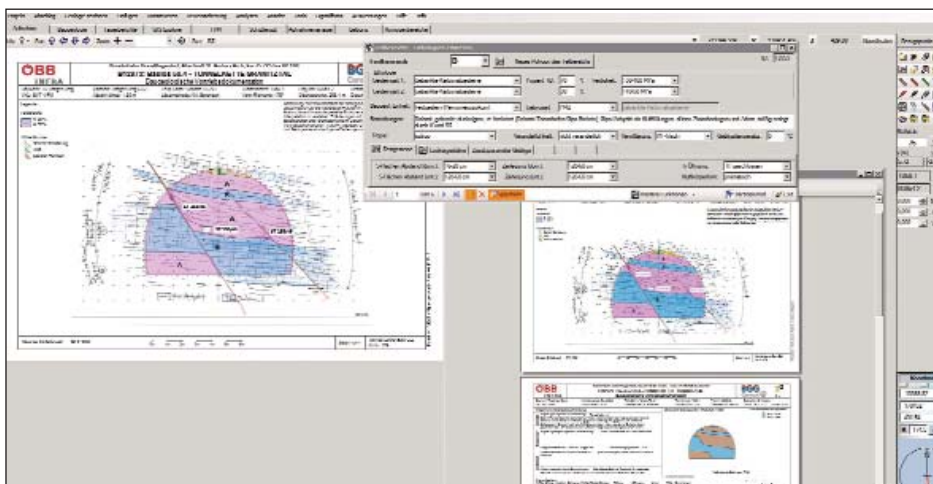
Two shear zones were predicted for the DG tunnels route. They were confirmed by the subsequent excavation. Nevertheless, the impact of the faults on the tunnel excavation was not as serious as expected. The main manifestation lied in the increased disturbance of the massif associated with an increase in the frequency of faults and slickensides.

The relatively homogeneous conditions for the tunnel excavation manifested themselves even in the magnitude of deformations, where the maximum values of vertical and horizontal deformations in substance did not exceed 10mm.

Increased deformations occurred only in the shear zones, where the maximums fluctuated about 50mm.

7. CONCLUSION

The intention of this paper was to give an idea of the Tunnelkette Granitztal project especially on DG Tunnel. The attitude towards adopting changes and responding to arisen problems is the most noticeable



Obr. 16 Ukázka geologické dokumentace v prostředí programu TUGIS

Fig. 16 Exhibit of geological documentation in the environment of the TUGIS program

v souvislostech prezentovány výsledky měření, dokumentace, průběhy ražeb atd. Jako například na obr. 17, kde je zřetelný nárůst deformací při průchodu jednou z poruchových zón.

V trase tunelů DG byla průzkumem předpovídána dvě poruchová pásma, která byla následnou ražbou potvrzena. Dopad těchto poruch na ražbu však nebyl tak velký, jak se očekávalo. Hlavním projevem bylo zvýšené porušení masivu spojené s nárůstem počtu tektonických, vyhlazených poruch.

Relativně homogenní podmínky pro ražbu se projeví i na velikosti deformací, kdy maximální hodnoty vertikálních i příčných deformací v podstatě nepřesáhly 10 mm.

Pouze v poruchových pásmech došlo k nárůstům, přičemž maxima se pohybovala okolo 50 mm.

7. ZÁVĚR

Záměrem článku bylo podat představu o stavbě Tunnelkette Granitztal, se zaměřením na tunel Deutsch Grutschen. Z hlediska porovnání se stavbami v ČR/SR je nejvýraznější rozdíl v přístupu k přijímání změn a reakce na vzniklé problémy.

Řešení „běžných“ problémů souvisejících s ražbami (nestabilita čelby, nárůst deformací, změna systému rozpojování, atd.) je ponecháno zcela v kompetenci týmu přítomného na stavbě. Opatření jsou přijímána bezprostředně a jsou plně akceptována zhotovitelem.

Změny schémat vystrojení na jedné straně vždy dodržovaly veškeré bezpečnostní zásady, současně byl však kladen maximální důraz na ekonomiku.

Ke změně vystrojení tak u tunelů délky 2600 m došlo zhruba 30 krát v každém tubusu. A i v tomto případě byly vždy veškeré změny dodavatelem přesně dodržovány.

Evidentní je také rozdíl v důrazu na rychlé zaměření konvergenčních profilů a dodržování pokud možno stejného času od osazení bodů do jejich nultého měření. Rovněž vzdálenost konvergenčních profilů je výrazně menší, toto řešení poskytuje nejen podrobnější přehled o vývoji deformací, ale umožňuje i mnohem rychleji reagovat na případné změny.

Z hlediska dodavatele pak je zřejmé dokonalé zvládnutí sledu prací v cyklu, kdy bylo běžně dosahováno šesti i sedmi postupů za den.

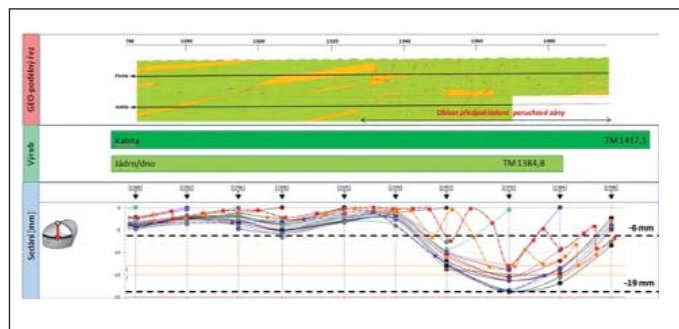
Vzhledem k stále častějším informacím o záměru zahájení prací na vysokorychlostních tratích v ČR, které budou nutně napojeny na stávající a budované dráhy v sousedních zemích, je nutné sledovat vývoj, způsob výstavby a problémy spojené s výstavbou jak již provozovaných, tak v současnosti budovaných vysokorychlostních tratí v zahraničí.

Přestože každá tunelová stavba je ve své podstatě originál, najde se řada staveb, které se některým plánovaným stavbám na území ČR velice podobají. V takových případech by bylo velmi žádoucí se z těchto staveb poučit a nehlédat jiná, mnohdy složitější a nákladnější řešení.

**Mgr. JIŘÍ ZMÍTKO, zmitko@3-g.cz,
3G Consulting Engineers, s.r.o.**

**Recenzovali Reviewed: Ing. Pavel Polák,
Ing. Vladimír Prajzler**

Tento příspěvek byl zpracován s podporou grantu TAČR TE01020168 – projekt CESTI.



Obr. 17 Ukázka společné „Geo“ prezentace, geologie a geotechnika, průběh konvergencí v závislosti na zhoršení geologických podmínek

Fig. 17 Exhibit of common “Geo” presentation, geology and geotechnics, history of convergences depending on the deterioration of geological conditions

from the aspect of the comparison with construction projects in the Czech and Slovak Republics.

The task to solve “common” problems associated with the tunnel excavation (instability of excavation face, increase in deformations, changing the system of disintegration, etc.) is completely left in the competency of the team present on site. Measures are adopted immediately and are fully accepted by the contractor.

Changes in the excavation support schemes always adhered to all safety principles, but at the same time, the maximum stress was put on economy.

In this system the excavation support in the 2600m long tunnels was changed approximately 30 times in each tunnel tube. All changes were exactly implemented and adhered to by the contractor even in these cases.

The difference in the stress put on quick surveying of convergence measurement profiles and adhering to the principle of equal time between the installation of the measurement points and zero measurements carried out on them is also evident. The spacing of the convergence profiles is also significantly smaller. This solution provides not only more detailed knowledge of the development of deformations, but it also allows for responding to contingent changes.

From contractor's point of view, the perfect mastering of the work operations in the excavation cycle is obvious. The excavation rate of six to seven excavation rounds per day was a commonplace.

With respect to the ever more frequent information about the intention to commence the work on high-speed railway tracks in the Czech Republic, which will be necessarily connected to the lines existing in neighbouring countries, it is necessary to follow the development, the way of construction and problems associated with the development of both the already operating high-speed railway tracks and the tracks currently underway.

Despite the fact that each tunnel construction is in its substance original, several projects very similar to some planned construction projects in the Czech Republic will exist. In such cases it would be very recommendable to learn lessons from those projects and not to search for other, often more complicated and more expensive solutions.

**Mgr. JIŘÍ ZMÍTKO, zmitko@3-g.cz,
3G Consulting Engineers, s.r.o.**

This paper was prepared with the support of the Technological Agency of the Czech Republic grant TE01020168 – CESTI project.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] 3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH und BGG Consult Dr. Peter Waibel ZT GmbH (03/2015), Gutachten zur Geologie, Hydrogeologie und Geotechnik, Abschnitt ST. Paul-Aich, km 75.725 – km 82.100, ÖBB-Infrastruktur AG, Ausschreibungsprojekt Tunnelkette Granitztal
- [2] PGGT Planungsgemeinschaft Tunnelkette Granitztal Tunnelbau, iC Consulanten – IGT Geotechnik und Tunnelbau (2014), ÖBB-Infrastruktur AG, Tunnelkette Granitztal, Ausführungsprojekt
- [3] Ůbleis, M., Wagner, S., Zmitko, J., 3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH, Geologisch-hydrogeologische Dokumentation, B12973: Baulos 50.4 – Tunnelkette Granitztal, ÖBB-Infrastruktur AG

TUNEL EL VOLCÁN – STAVBA VODNÍ ELEKTRÁRNY ALTO MAIPO, CHILE

TUNNEL EL VOLCÁN – HPP ALTO MAIPO, CHILE

KURT KLIMA

ABSTRAKT

Projekt vodní elektrárny Alto Maipo s výkonem 531 MW se nachází v centrální oblasti And, asi 70 km na jihovýchod od města Santiago de Chile, u hranic s Argentinou. V obtížných geologických podmínkách se razí dvě kaverny pro strojovny elektrárny a více než 65 km tunelů. Usazené vulkanické horniny se složitou tektonickou strukturou, tektonické poruchy a v některých místech hydrotermální rozpad tvoří převládající podmínky horninového masivu. Na stavbu má vliv nebezpečí zemětřesení a sopečné aktivity ovlivněné zónou subdukce litosférických desek pod Andami. Tunel El Volcán dlouhý 14 km odvádí vodu z míst vtoku ve vyšším údolí Volcán do údolí Yeso. Tunel se razí úpadně z vtokového portálu ve výšce 2600 m nad mořem metodou Drill & Blast bez vážnějších komplikací. Dopravní ražba z výtokového portálu proti proudu vody se začala provádět pomocí plnoprofilového tunelovacího stroje TBM. S ohledem na výšku nadloží dosahující až 1500 m a očekávané podmínky velkých horninových tlaků a tlačivých hornin byl zvolen otevřený tunelovací stroj Robbins. Po 700 metrech ražby se narazilo na horizontální poruchovou zónu s tlakovou vodou. Jelikož nebylo možné dále provádět normální ražbu strojem TBM, byl stroj rozebrán.

ABSTRACT

The 531MW run-off HPP Alto Maipo is located in the Principal Andes Mountain range about 70km SE of Santiago de Chile, close to the border to Argentina. Two powerhouse caverns and more than 65km of tunnels will be excavated in difficult geological conditions. Sedimentary volcanic rocks with complex tectonic structures, faulting and locally hydrothermal disintegration are the prevailing rock mass conditions. Influenced by the subduction zone under the Andes, earthquake hazard and volcanic activity are having impact on the project. The 14km long tunnel El Volcán deviates water from intakes in the higher Volcán valley to the Yeso valley. The tunnel is excavated from the intake portal at an elevation of 2600m a.s.l. downstream by drill and blast without complications. Excavation from outlet portal upstream is by TBM. Due to rockcover up to 1500m and expected squeezing conditions, an open gripper Robbins machine was chosen. After 700m of excavation a horizontal fault-zone with pressurized water was encountered. As no longer a regular excavation by TBM was achievable, the TBM was dismantled.

PROJEKT

Projekt se skládá z průtočných vodních elektráren Las Lajas o výkonu 267 MW a Alfalfal II o výkonu 264 MW, nacházejících se na horním toku řeky Maipo, asi 50 km jihovýchodně od Santiago v Chile (obr. 1). Po dokončení stavby bude očekávaná roční produkce dodávaná do chilské elektrické sítě (Sistema Interconectado Central) kolem 2320 GWh.

THE PROJECT

The project includes the 267MW Las Lajas and 264MW Alfalfal II run-of river hydroelectric power stations located in the upper section of the Maipo River, about 50km southeast of Santiago, Chile (see Fig. 1). When completed, the combined annual production is expected to be about 2,320GWh delivered to Chile's electrical grid, Sistema Interconectado Central.

The client is Alto Maipo Spa, a subsidiary of the Chile-based power company AES Gener and the USA-based AES Corporation. Design of the tunnels, shafts, adits, surge tanks and underground powerhouses is completed by Norconsult and Norplan under a separate contract awarded in 2010 (TunnelTalk, 2012).

A group (Consorcio SAM Spa) comprised of Norway's Multiconsult, Skava of Chile and Amberg of Switzerland has been awarded a contract to provide owners engineer services for underground works (Hydroworld, 2014).

Construction on the plants began in the fourth quarter of 2013, and is expected to be commissioned in 2019 (Hydroworld, 2017).



Obr. 1 Místo stavby

Fig. 1 Location of the project

Mapy Google, upraveno GoogleMaps, modified

Objednatelem je společnost Alto Maipo Spa, dceřiná společnost chilské elektrárenské společnosti AES Gener a společnosti AES Corporation sídlící v USA. Projekt tunelů, šachet, štol, vyrovnávacích nádrží a podzemních strojoven provádí firmy Norconsult a Norplan podle samostatné smlouvy uzavřené v roce 2010 (TunnelTalk, 2012).

Smlouva na zajištění inženýrských služeb investora (stavební dozor aj.) pro podzemní práce byla uzavřena se společenstvím (Consortio SAM Spa) složeným z norské firmy Multiconsult, firmy Skava of Chile a švýcarské firmy Amberg.

Výstavba elektráren byla zahájena ve čtvrtém čtvrtletí roku 2013 a očekává se, že bude ukončena v roce 2019 (Hydroworld, 2017).

Chilská divize společnosti Strabag (Rakousko) vyhrála soutěž na provedení dvou třetin ražeb tunelů a kaveren v údolích a horách s vodními zdroji na řekách Colorado a Maipo směrem na sever, zatímco společný podnik (CNM S. A.) firem Hochtief (Německo) a CMC di Ravenna (Itálie) získal smlouvu na ražbu 18,5 km jižních tunelů v údolích Volcán a Yeso (TunnelTalk, 2012).

Informace poskytnuté v tomto článku se omezují na úsek stavby Yeso – Volcán, včetně asi 14 km dlouhého tunelu Volcán a přibližně 6 km dlouhého nejvyššího úseku kolem 14 km dlouhého přírodního tunelu Alfalfal II, viz obr. 2 (TunnelTalk, 2013).

Firma 3G zaujímá postavení oblastního správce softwarového majetku (SAM) pro stavbu Yeso – Volcán za firmu Amberg Madrid v letech 2014 – 2016.

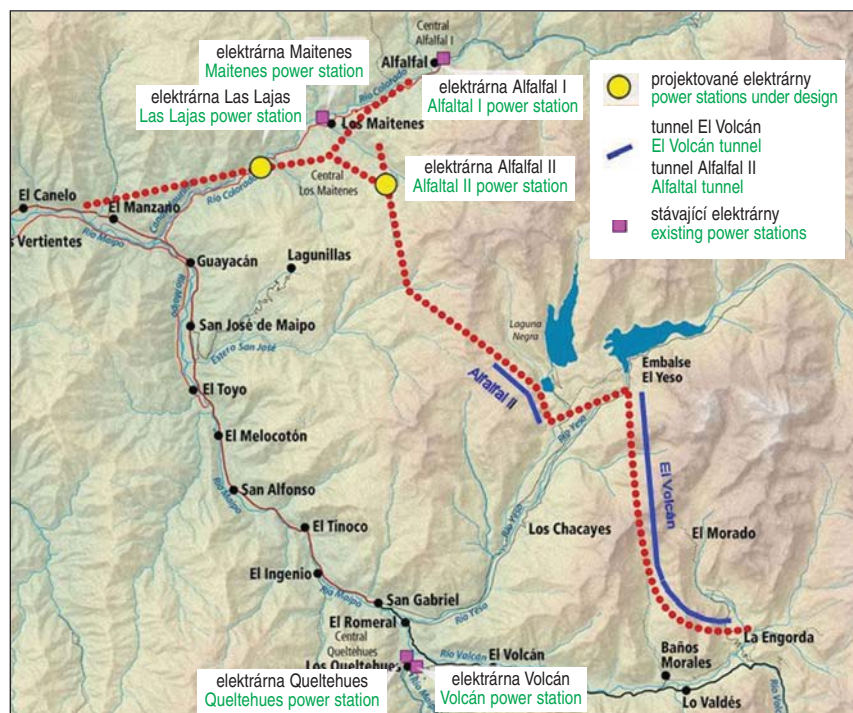
GEOLOGICKÉ PODMÍNKY

Stavba leží v centrální oblasti Kordillér (And). Vývoj horského pásu And je ovlivněn podsouváním (subdukce) oceánské tektonické desky Nazca pod jihoamerickou pevninskou desku, které probíhá víceméně trvale od období Jury. Změny rychlosti podsouvání, šikmosti a zapadání podsouvající se desky v minulosti vedly ke vzniku oblastí stlačovaných a rozpínaných. Ve fázích rozpínání se spojovaly sedimenty a vulkanické usazeniny. V pozdějších stádiích stlačování se sedimenty protlačovaly pevninským podkladem a vytvářely moderní Andy s převažující inverzní tektonikou a reverzními zlomy s různými směry vergence (obr. 3).

V oblasti stavby je v současné době směr podsouvání desky Nazca téměř kolmý k pobřeží a jeho rychlost je asi 6,8 cm za rok; směr zapadání je kolem 30° V. Postupující proces podsouvání je dokumentován vysokou seismicitou a aktivními sopkami. V blízkosti vstupu do tunelu Volcán se nachází sopka San José s její poslední hlášenou erupcí v roce 1960.

Sopečná aktivita je viditelná i na horkých pramenech Baños Morales a Baños Colina v blízkosti stavby a na širokých pásmech hydrotermálně změněných a rozpadlých skalních hornin, hlavně podél dominantních zlomových pásem (obr. 4).

Konvergence litosférických desek generuje tři hlavní seismické oblasti: podél pobřeží jsou velká mělká (0–50 km) přesmyková zemětřesení, velké hlubší (70–100 km) tahové a tlakové případy jsou u podsouvající se desky Nazca a velmi mělká seismická (0–35 km) je u horní, Jihoamerické desky (obr. 5). Zemětřesení velikosti menší než 4 (stupnice MSK – Medvěďev –



Obr. 2 Situace hydroelektrárny Alto Maipo
Fig. 2 Layout of the Alto Maipo HPP

TunnelTalk (2013), upraveno TunnelTalk (2013), modified

The Chilean division of Strabag (Austria) is awarded a contract to excavate two thirds of the project's underground watercourse and powerhouse works in the valleys and mountains of the Colorado and Maipo river basins to the north, while a joint venture (CNM S.A.) of Hochtief (Germany) / CMC di Ravenna (Italy) is awarded the contract to excavate 18.5km of southern tunnels in the Volcán and Yeso valleys (TunnelTalk, 2012).

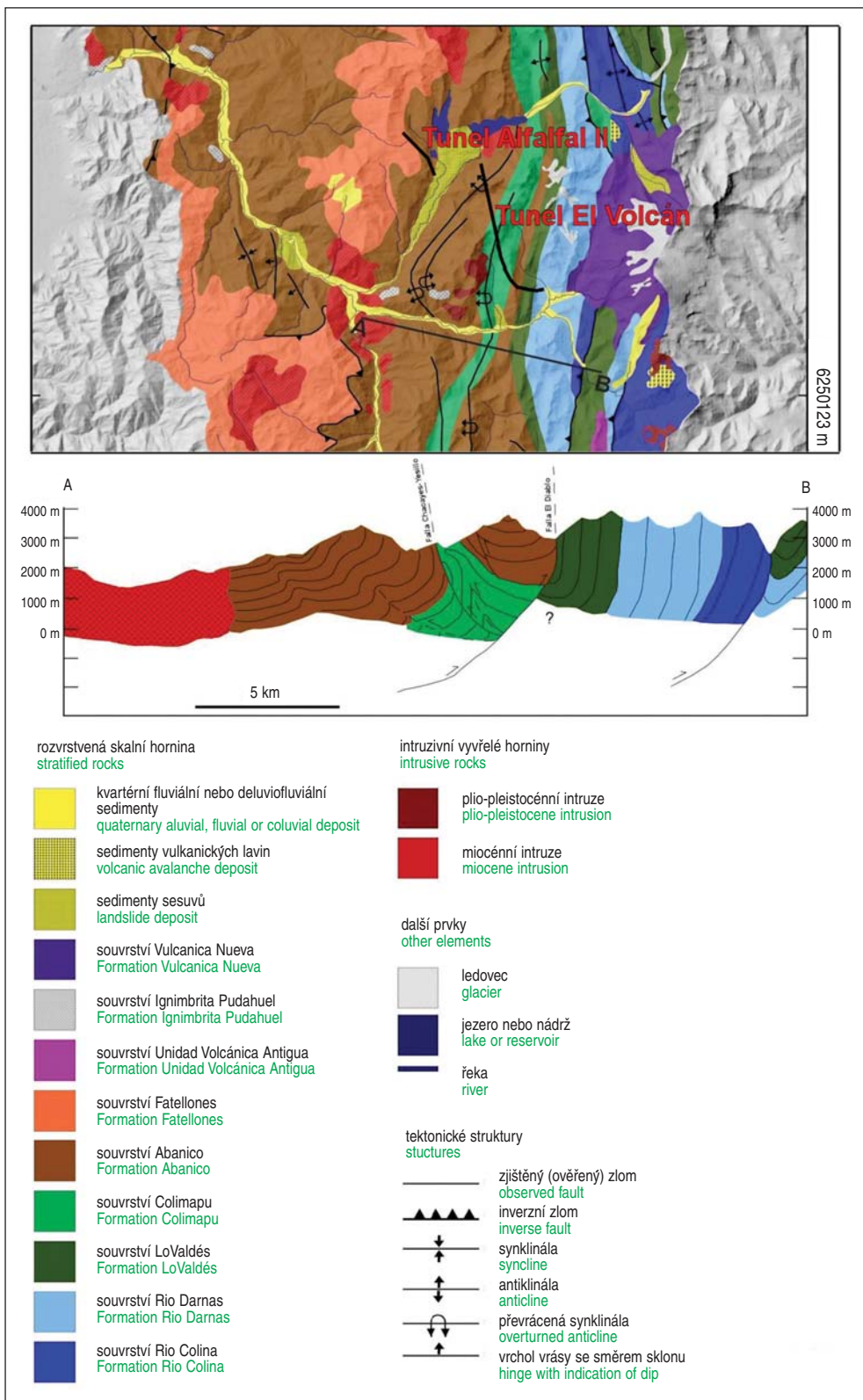
Information provided in that paper is restricted to the Yeso – Volcán section of the project, including the tunnel Volcán, about 14km long, and the most upstream section, appr. 6km, of the about 14.5km long Alfalfal II headrace tunnel (TunnelTalk, 2013), see Fig. 2.

3G hold the position of the SAM Area Manager for the Yeso – Volcán contract on behalf of Amberg Madrid in the period from 2014 to 2016.

GEOLOGICAL SETTING

The project is located in the Principal Cordillera of the Andes. The development of the Andean mountain belt is caused by the subduction of the oceanic Nazca plate under the continental South American plate, more or less continuously since Jurassic times. Changes on subduction rates, obliquity and dip of the subducting slab in the past resulted in successive extensional and compressional settings. In extensional phases sediments and volcanic deposits were aggregated. In the later compressional stages the sediments were overriding the continental basement, and forming the modern Andes with predominantly inversion tectonics and reverse faults with different vergence directions (Fig. 3).

In the area of the project, currently the direction of the subduction of the Nazca plate is nearly orthogonal to the coast at a rate of about 6.8cm/yr with a slab dip of about 30°E. The ongoing subduction process is documented by a high seismicity and by active volcanos. Near to the inlet of the Volcán tunnel is located the 5800m high volcano San José with a most recent reported eruption in 1960.



Obr. 3 Geologická mapa a profil oblasti stavby
Fig. 3 Geological map and profile of the project area

Benado Wilson (2013), upraveno Benado Wilson (2013), modified

Sponheuer – Kárník, modifikovaná Mercalliho stupnice) jsou běžná. K jedné z největších událostí zaznamenaných v oblasti stavby došlo 4. září 1958 na soutoku řek Río Volcán a Río Maipo, velikost zemětřesení dosáhla hodnoty 6,3 (Alvarado et al, 2009).

TUNEL EL VOLCÁN

Účelem asi 14 km dlouhého tunelu El Volcán je převést vodu zachycenou vtoky ze čtyř řek ve výšce kolem 2600 m nad mořem z údolí Volcán do údolí Yeso (TunnelTalk, 2013).

Vulcanic activity is visible also from hot springs, Baños Morales and Baños Colina, in the vicinity of the project as well as from wide zones of hydrothermally altered and disintegrated rock, mainly along of dominant fault zones (Fig. 4).

The plate- convergence generates three main seismogenic zones: along the coast there are large, shallow (0–50km) interplate thrust earthquakes, large deeper (70–100km) tensional as well as compressional events within the subducting Nazca plate, and very shallow seismicity (0–35km) within the overriding South American plate (Fig. 5). Earthquakes with a magnitude in the range lower than 4 (the MSK scale - Medwedew - Sponheuer - Karnik 1964, a modified Mercalli scale) are common events. One of largest recorded events in the project area happened on September 4, 1958 at the confluence of Río Volcán and Río Maipo with a magnitude of 6.3 (Alvarado et al, 2009).

TUNNEL EL VOLCÁN

Purpose of the about 14km long tunnel El Volcán is to deviate water, collected by intakes from 4 rivers at the elevation of about 2600m a.s.l., from the Volcán valley to the Yeso valley (TunnelTalk, 2013).

Prediction of geotechnical conditions for tunnel excavation is mainly based on the existing geological map (Thiele 1980), very little additional investigation was done. Only large scale geological structures, like regional fault zones, folds, wide zones of hydrothermal alteration and the high rock-cover of up to 1500m are reflected in the geological models for the tunnel. A more detailed characterization of the rockmass including small tectonic structures, minor faults and thrusts, variation in lithology, etc.,

was not performed.

The expected rock classes were estimated based on the Bieniawski's RMR and Barton's Q with using quantitative rock mass data from projects in comparable geological conditions. Anticipated range of adjusted RMR was 33 to 43. Q – indices were estimated in the range from 0.0035 to 200.

To overcome the leak of detailed geological information, continuous probe drilling ahead of the excavation face was demanded by contract. Part of the excavation concept also was

Předpověď geotechnických poměrů pro ražbu tunelu vychází hlavně ze stávajících geologických map (Thiele 1980). Dodatečných průzkumů bylo provedeno jen velmi málo. V geologických modelech pro tunel jsou podchyceny pouze velké geologické struktury, jako jsou regionální zlomová pásma, vrásy, široká pásma hydrotermální alterace a vysoké skalní nadloží až do 1500 m. Podrobnější specifikace hornin včetně malých tektonických struktur, malé zlomy a přesmyky, změny litologie aj. se neprováděla.

Očekávané třídy horniny se odhadovaly na základě klasifikace podle Bienawského RMR systému a tříd Q podle Bartona et al. s použitím kvantitativních údajů o skalních horninách získaných na jiných stavbách ve srovnatelných geologických podmínkách. Očekávaný rozsah upravených tříd RMR se pohyboval od 33 do 43. Součinitele Q se odhadovaly v rozsahu od 0,0035 do 200.

Aby se překonal nedostatek podrobných geologických informací, byl ve smlouvě požadován vrtný průzkum před čelbou. Součástí koncepce ražby byla i předstihová injektáž pro omezení očekávaných přítoků vody s tlakem až 100 barů v úseku s vysokým skalním nadložím, pod horským hřebenem pokrytým ledovcem (Tab. 1).



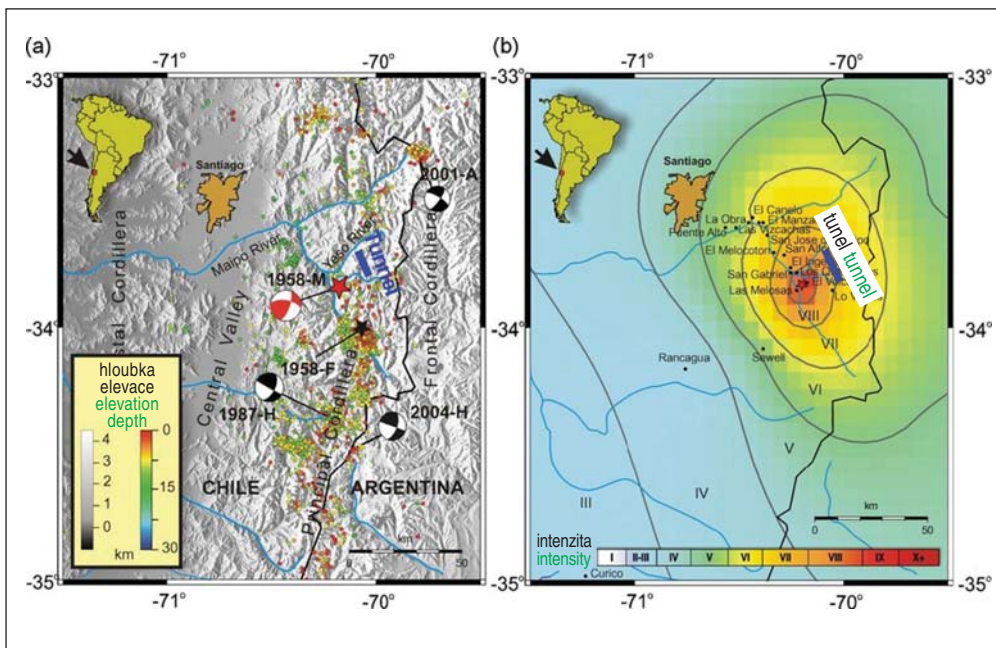
Obr. 4 Široká poruchová zóna s nápadnými hydrotermálními alteracemi a rozpadem skalní horniny, údolí Volcán

Fig. 4 Wide fault zone with remarkable hydrothermal alteration and disintegration of rock, Volcán valley

pregROUTING for control of expected water inflow with pressure up to 100 bars in the section with high rock cover underneath the glaciated mountain range (Table 1).

Tab. 1 Předpokládané geologické podmínky v tunelu El Volcán
Table 1 anticipated geological conditions in tunnel El Volcán

souvrství formation	stáří (éra) age	mocnost thickness	litologie lithology	strukturní stavba structure	tektonické porušení faulting
vrchol (výtokový portál) top (portal outlet)					
Eastern Abanico	terciární		vulkanické, vulkanoklastické, minoritně okrajové jezerní a fluvialní sedimenty pevninské usazeniny; střídání tufů, hlavně fialové, purpurové a šedivé vulkanické brekcie s vložkami andezitových a ryolitických láv a vulkanoklastických hornin	extrémně výrazné vrásy, i převrácené	subvertikální zlomy a pukliny
Eastern Abanico	tertiary		volcanic, volcanoclastic, and marginal lacustrine and fluvial continental deposits; alternation of tuffs, predominantly violet, purple and grey volcanic breccias with intercalations of andesitic and rhyolitic lavas and volcanoclastic rocks	extremely marked folds, even overturned	subvertical faults and fractures
kontakt: zlomy contact: faults					
Colimapu	spodní a vrchní kvartér	2000 m	vrstevní sled vulkanických a pevninských sedimentů pískovců, lutitů, slepenců, vložky tufů, andezitových láv a vápenců s vrstvami sekundárního sádrovce	proměnlivé poklesy od 50° Z do svislých až převrácených	subvertikální zlomy a pukliny
Colimapu	lower to upper cretaceous	2000m	volcanic and continental sedimentary sequence of sandstones, lutites, conglomerates, intercalations of tuffs, andesitic lavas and limestones with levels of secondary gypsum	variable dips from 50°W to vertical and even inverted	subvertical faults and fractures
kontakt: konkordantní contact: concordant					
Lo Valdés	svrchní jura až spodní kvartér	1350 m	vrstevní sled vápenců, lutitů, pískovců, slepenců a brekcií; ve spodní části silné až středně silné vložky andezitických vulkanických hornin a tenké čočkovité vrstvy sádrovce	silně skloněné až svislé a dokonce převrácené	subvertikální zlomy a pukliny
Lo Valdés	upper jurassic to lower cretaceous	1350m	sequence of limestones, lutites, sandstones, conglomerates and breccias; on the bottom part thick to medium intercalated levels of andesitic volcanic rocks and thin lenticular layers of interstratified gypsum	heavily inclined to vertical and even inverted	subvertical faults and fractures
kontakt: konkordantní contact: concordant					
Damas River	svrchní jura upper jurassic	3000 m	vrstevní sled pevninských slepenců a silné až středně silné slepencové brekcie s vložkami pískovců, limonitů a andezitických láv	různé polohy od 70° po svislé	
Damas River	upper jurassic	3000m	continental sequence of conglomerates and thick to medium conglomeratic breccias with intercalations of sandstones, limonites and andesitic lavas	variable position between 70° to vertical bottom (portal inlet)	



Obr. 5 Změněné působíště seismicity mezi roky 1995 a 2005 (a), mapa intenzit seismicity na stupnici MSK (b)
 Fig. 5 Relocated seismicity between 1995 and 2005 (a), map of the MSK seismic intensities (b)

ZKUŠENOSTI Z RAŽEB

Úpadní ražba tunelu El Volcán z vtokového portálu se provádí bez velkých problémů metodou Drill & Blast v téměř svisle zapadajících strukturách sedimentárních hornin oblastí Damas River, Lo Valdés a Colimapu.

Z výtokového portálu se prováděla ražba otevřeným plno-profilovým tunelovacím strojem s rozpěrnými deskami fy. Robbins s průměrem 4,13 m. Ražba probíhala v horizontálně uložených vulkanických horninách, tufech a andezitu formace Eastern Abanico. Rozhodnutí použít otevřený plno-profilový tunelovací stroj (TBM) bylo učiněno z důvodu očekávaných vyšších rychlostí postupu ve srovnání s metodou Drill & Blast (TunnelTalk, 2012). Rozhodnutí použít rozpěrné desky bylo založeno na očekávaných podmínkách tlačivých skalních hornin s výškou skalního nadloží kolem 1500 m.

Po vyražení asi 160 m dlouhého startovacího tunelu metodou Drill & Blast byla 19. června 2015 zahájena ražba tunelovacím strojem (TBM) v tufech formace Albanico. Po 700 metrech ražby strojem TBM se v přístropi výrubu narazilo na několik metrů silnou horizontální poruchu s podcenou skalní horninou a jílovitou výplní. Všechny tyto diskontinuity vykazovaly důkazy tektonických posunů. Byly pozorovány klíny různé velikosti. Nad nepropustnou poruchovou zónou byla zjištěna tlaková voda pod tlakem až 22 barů.

Subhorizontální porucha v kombinaci se svislými puklinami probíhajícími ve směru přibližně

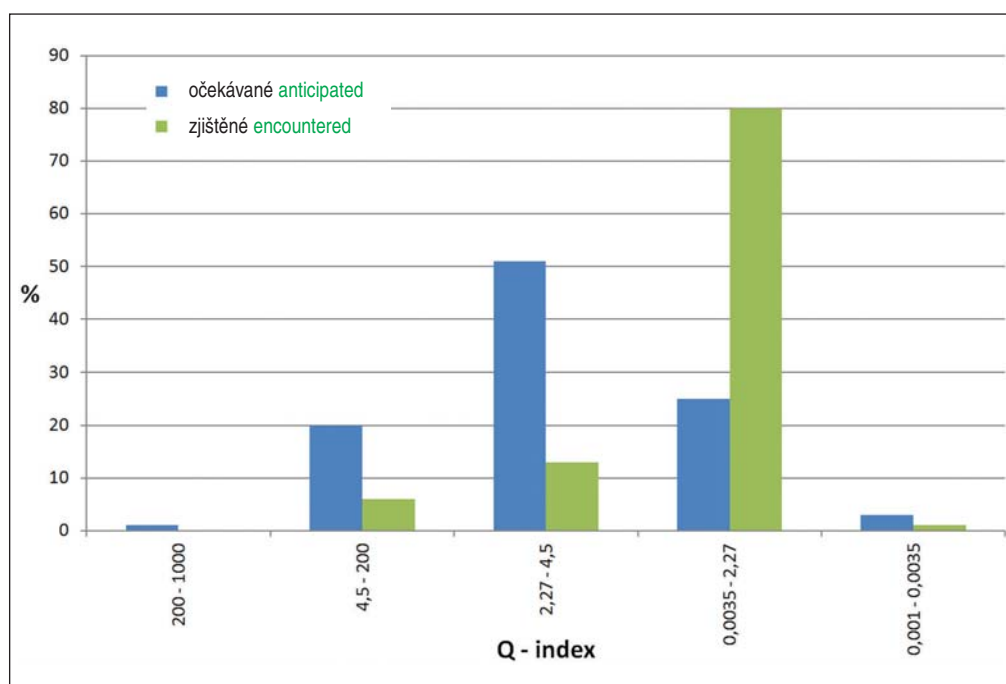
EXPERIENCE FROM THE EXCAVATION

Downstream excavation of tunnel El Volcán from the inlet portal is done by drill & blast in almost vertically dipping sedimentary rocks of formations Damas River, Lo Valdés and Colimapu without mayor problems.

From the outlet portal was excavated by TBM using an open Robbins gripper machine with a diameter of 4.13m in horizontally bedded volcanic rocks, tuff and andesite, of the formation Eastern Abanico. It was decided to use a TBM because of the expected higher rate of advance compared to drill & blast (TunnelTalk, 2012). Decision for an open gripper machine was based on expected squeezing rock conditions due to the high rock cover of about 1500m.

After excavation of the start-tube of 160m length approx. by drill & blast, TBM excavation commenced on June 19, 2015 in tuffs of the Abanico Formation. After 700m of TBM drive, in December 2015, a horizontal fault with thickness of a few meters and of heavily crushed rock and clayey fault gouge was encountered in the crown. All of the discontinuities showed evidence of shearing. Wedges of varying size were observed. Above of the impermeable fault water with pressure of up to 22 bars was detected from drillholes.

The sub-horizontal fault in combination with vertical joints, striking about parallel to the axes of the tunnel, resulted in severe overbreaks from the crown (Fig. 6). Observed Q – indices were much lower than anticipated.



Obr. 6 Předpovídané indexy Q ve srovnání se zastiženými v úseku od výtokového portálu (ražba plno-profilovým tunelovacím strojem)

Fig. 6 Anticipated versus encountered Q – indices of excavation from outlet portal (TBM excavation)

rovnoběžném s osou tunelu vedla k několika nadvýlomům ve stropě výrubu. Pozorované hodnoty součinitele Q byly mnohem menší, než se očekávalo (obr. 6).

Bezpečné podmínky zajištění přístropí se dosáhly použitím systému McNally (obr. 7), který byl průběžně instalován za plnoprofilovým tunelovacím strojem.

Tento systém, který byl vyvinut a patentován McNellym, se skládá z podélně uložených ocelových profilů (latí) namísto svařovaných sítí. Jednotlivé latě jsou položeny přímo na horninu stropu v pozici od 10:00 do 2:00 hodin. Latě jsou drženy ocelovými žebry, která jsou držena horninovými svorníky. Žebra se instalují ihned za řeznou hlavou stroje a latě se vysouvají z řady trubek začleněných do řezné hlavy štítu. Systém zajištění stropu se nachází ihned za řeznou hlavou, takže umožňuje prakticky okamžité zajištění stropu tunelu (US Patent 6468000), (The Robbins Company).

Ohlasy s tenkou jílovou výplní a subvertikální pukliny vytvářely silně rozpukaný a porušený horninový masiv s malou soudržností.

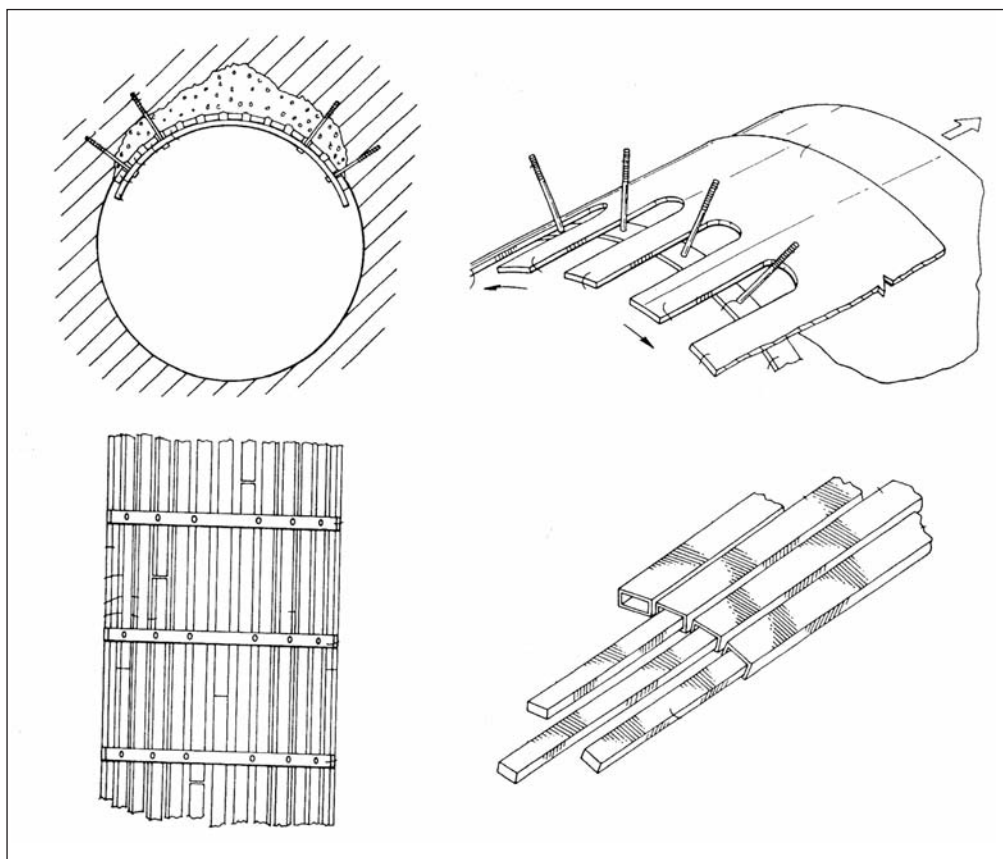
Řezné nástroje a řezná hlava byly blokovány lepivým jílem. Dopravník byl také blokován. Řezné nástroje a řezná hlava se musely čistit ručně. Dopravování lepivého materiálu na dopravníku bylo obtížné. Pracovní podmínky byly extrémně špatné z důvodu omezeného prostoru v oblasti tunelovacího stroje a trvalého pronikání vody ze stropu výrubu (> 200 l/min). Jelikož instalace svorníků v jílovitém materiálu poruchy byla problematická, bylo učiněno rozhodnutí použít navíc k systému McNally ještě prstence důlní výztuže TH29.

Čištění dna pro uložení výztužných rámců TH29 se muselo provádět ručně. Z důvodu časově náročných ručních prací na čištění řezné hlavy, dna a dopravníku, prováděných navíc k instalaci těžkých prstenců výztuže TH29, byl postup omezen na asi 1 prstenec (odpovídající postupu 1 metr) za směnu. Trvalý přítok vody ze stropu vymýval jemné částice a v důsledku toho větší komponenty tvořily stálé zatížení nesoudržným materiálem za výztuží McNally (obr. 8). Zjištěné hodnoty kvality horninového masivu (index Q) byly mnohem menší, než se očekávalo.

Geometrická omezení plnoprofilového tunelovacího stroje, spolu s prvky neobvykle těžké výstroje, činila průzkumná opatření před čelem výrubu a nezbytnou zpevňovací injektáž obtížnými nebo dokonce nemožnými.

Přístup k povrchu výrubu omezený instalací štítu neumožňoval systematické monitorování posunutí v úseku řezné hlavy a závěsu TBM o délce přibližně 200 m od čela výrubu.

V důsledku zastižených geologických podmínek byl řádný provoz štítu nemožný.



Obr. 7 Princip zajištění výrubu systémem McNally
Fig. 7 Principle of the McNally support system

US Patent 6468000, upraveno US Patent 6468000, modified

To guarantee safe work conditions support in the crown was achieved by applying the McNally support system (Fig. 7), installed continuously behind the roof shield of the TBM.

The system developed and patented by McNally consists of longitudinally placed steel strapping in place of the wire mesh. Individual straps are placed directly against the rock of the roof from the 10:00 to 2:00 o'clock position. The strapping is held in place by the steel ribs which are held in place by rock bolts. The ribs are installed immediately behind the TBM cutterhead and the straps are extruded from a series of tubes integrated into the cutterhead shield. The roof support system is in place immediately behind the TBM's cutterhead shield, thereby affording virtually immediate support for the tunnel crown (US Patent 6468000), (The Robbins Company).

Slickensides with thin clay infill and sub vertical joints were forming a heavily fractured, faulted rock mass with low cohesion.

Cutters and cutterhead were blocked by sticky clay. Conveyor was blocked. The cutters and the cutterhead had to be cleaned by hand. It was difficult to transport the sticky material on the conveyor. Work conditions due to limited space in the area of the TBM and the permanent diffuse water flow from the crown (> 200 L/min) were extremely poor. As bolting in the clayey fault material was problematically, decision for using TH29 rings in addition to McNally was taken.

For placing of TH29 rings, cleaning of the invert had to be done by hand. Due to the time consuming hand work for cleaning of cutterhead, invert and conveyor, in addition to installation of heavy TH29 rings, progress was limited to appr. 1 ring (corresponding to 1 m of advance) per shift. The permanent water flow from the crown was washing out the fines and as a result bigger components were forming a dead load of cohesionless material



Obr. 8 Materiál tektonické poruchy s vyplavenými jemnými částicemi, tvořící stálé zatížení působící na výstroj McNally u stropu výrubu
Fig. 8 Fault material with fines washed out forming dead load on McNally support in the roof

Jelikož tunel sledoval subhorizontální tektonickou poruchu další desítky metrů, a protože nebyly žádné náznaky změny situace k lepšímu, bylo nakonec v květnu 2016, po méně než 800 metrech ražby, rozhodnuto štít rozebrat.

Objednatel rozhodl, že se má plnoprofilový tunelovací stroj (TBM) nahradit jiným strojem s rozpěrami s malými úpravami, hlavně na zařízení na průzkumné vrtání a injektáž před čelo výrubu. Nový stroj zahájí ražbu od poloviny roku 2017. Prozatím ražba pokračuje s použitím vrtacích a trhacích prací (metodou Drill&Blast).

GEOLOGICKÁ INTERPRETACE PORUCHOVÉ ZÓNY

Horizontální nebo subhorizontální geologické struktury jsou v oblasti stavby běžné. Skalní horniny formace Albanico, hlavně tufy, jsou většinou horizontálně vrstevnaté. Kompresní tektonika v mladší historii vývoje horského pásma And vede ke zkracování ve směru V–Z i S–J. Horninový masiv je podrcený se vznikem mnoha tektonických příkrovů. Typický pro tento styl deformací je vznik čočkových podrcených těles nebo tektoniky plochých „ramp“ (flat-ramp Techniques) s duplexními strukturami. Obzvláště struktury plochých ramp (flat-ramp) jsou charakterizovány perzistentními subhorizontálními podrcenými zónami na spodním a horním povrchu těchto struktur. Subhorizontální podrcená zóna zastižená při ražbě z výtokového

behind the McNally support (Fig. 8). The encountered Q – indices were much lower than anticipated.

Geometrical restrictions of the TBM together with unusual heavy support items made exploratory measures ahead of the face as well as necessary consolidation grouting difficult or even impossible.

Limited access to the rock surface by the TBM installation did not allow for a systematic displacement monitoring within the section of the cutterhead and of the TBM backup from the face to 200 m approx. behind of excavation face.

As a consequence of the geological conditions encountered, the regular operation of the TBM was impossible.

As the tunnel was following the sub-horizontal fault for the next tens of meters and as there were no hints for a change of the situation to the better, finally was decided in May 2016 to dismantle the TBM, after less than 800 m of excavation.

Client's decision was to replace the TBM by another open gripper machine with little modifications, mainly of the exploratory and pregrouting drill rig. The new machine shall commence excavation from mid of 2017. Meanwhile excavation is continued by D&B.

GEOLOGICAL INTERPRETATION OF THE FAILURE ZONE

Horizontal or sub-horizontal geological structures are common in the project area. Most of the rocks of the Abanico formation are horizontally bedded volcanic rocks, mainly tuffs. Compressional tectonics in the younger history of the development of the Andes mountain range result in a shortening in E – W as well as in N – S direction. The rock mass is sheared and overthrust. Typical for this style of deformation is the formation of lens-shaped shear bodies or of flat – ramp tectonics with duplexes structures. Especially flat – ramp structures are characterized by persistent sub-horizontal shear zones on the bottom and on the top of the structures. The sub-horizontal shear-zone encountered in excavation from the outlet portal of the tunnel El Volcán is interpreted as part of a flat-ramp structure with a large extent (Fig. 9, 10).

CONCLUSION

Excavation behavior of rock mass is not only affected by the basic rock and rock mass parameters as commonly characterized by quantitative characterization methods, e.g. RMR or Q , and



Obr. 9 Čočkové podrcené těleso a subhorizontální smykové plochy tektonické poruchové zóny, údolí Yeso
Fig. 9 Lens-shaped shear bodies and sub-horizontal shear planes, Yeso valley

portálu tunelu El Volcán se vykládá jako součást struktury ploché rampy (flat-ramp) velkého rozsahu (obr. 9, 10).

ZÁVĚR

Chování horninového masivu při ražbě je ovlivňováno nejen bazickou horninou a parametry horniny, které jsou obecně charakterizovány kvantitativními charakterizačními metodami, např. RMR nebo Q, ale i snadno zjistitelným a dobře dokumentovaným obrazem regionální tektonické poruchy. Obvykle malá velikost inženýrských konstrukcí ve srovnání s geologickými informacemi získanými z dostupných geologických map vyžaduje velmi podrobný průzkum prostorového uspořádání a charakteristik menších struktur a místních jedinečností a jejich možného vzájemného působení s inženýrskými konstrukcemi.

Metody mechanizované ražby jsou mnohem citlivější na menší změny vlastností horninového masivu než vysoce pružná ražba metodou Drill & Blast. Plnoprofilové tunelovací stroje se chápou jako dobře vyrovnaný systém mnoha strojních komponentů a chování skalní horniny. Pokud pouze jediný komponent není v rovnováze, je úspěch nejistý.

Důsledkem rozhodnutí o použití metody mechanizované ražby je nutnost mnohem podrobnějších znalostí geologických a geotechnických podmínek, než je tomu u vysoce flexibilní ražby metodou Drill & Blast.

**Dr., Ass.-Prof. i. R. KURT KLIMA, Klima@3-g.at,
3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH**

Recenzovali Reviewed: Ing. Jaromír Zlámal,
Ing. Tomáš Zútko, CEng MICE,
EUR ING



Obr. 10 Velká duplexní tektonická struktura v blízkosti El Ingenio
Fig. 10 Large duplex structure near El Ingenio

by easily detectable and well documented regional fault pattern. The commonly small scale of engineering structures compared to geological information as provided by available geological maps asks for a very detailed investigation of the spatial arrangement and characteristics of minor structures and local singularities and their possible interaction with engineering structures.

Mechanized excavation methods are much more sensible to minor changes in rock mass properties than the highly flexible drill & blast excavation. TBM's are understood as a well balanced system of many machine components and the rock mass behavior. If only one single component is out of balance the success is questionable.

As a consequence for application of mechanized excavation methods a much more detailed knowledge of the geological – geotechnical conditions is inevitable than for the highly flexible drill & blast excavation.

**Dr., Ass.-Prof. i. R. KURT KLIMA, Klima@3-g.at,
3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH**

LITERATURA / REFERENCES

- [1] www.hydroworld.com/articles/2017/02/poyry-awarded-engineering-services-contract-for-531-mw-alto-maipo-hydropower-project-in-chile.htm
- [2] www.hydroworld.com/articles/2014/04/aes-awards-contract-for-underground-work-at-alto-maipo-hydroelectric-plant.html
- [3] www.tunneltalk.com/Chile-Nov12-Four-TBMs-for-Alto-Maipo-hydro-project.php
- [4] www.tunneltalk.com/Alto-Maipo-Chile-18Dec2013-Notice-to-proceed.php
- [5] THIELE, R. Geología de la Hoja Santiago, Región Metropolitana. Servicio Nacional de Geología y Minería, 1980, Carta Geológica de Chile 39, 51 p. 1 mapa escala 1:250.000
- [6] BENADO WILSON, J. M. Patrimonio geológico del proyecto geoparque Cajón del Maipo (Región Metropolitana – Chile), Thesis, 2013, Braga, Portugal
- [7] ALVARADO, P., BARRIENTOSC, S., SAEZB, M., ASTROZAD, M., BECK, S. Source study and tectonic implications of the historic 1958 Las Melosas crustal earthquake, Chile, compared to earthquake damage. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 175, 2009, 26-36
- [8] TWISS, R. J., MOORES, E. M. Structural Geology. 1997, 4th ed, New York, Freeman and Comp., 532p.
- [9] The Robbins Company McNally SystemTM
- [10] US Patent 6468000 Method and apparatus for feeding a tunnel roof support system from the roof shield of a TBM, 2002

DLOUHÉ DOPRAVNÍ TUNELY V INDICKÝCH HIMÁLÁJÍCH DOKONČENÉ, VE VÝSTAVBĚ, PŘIPRAVOVANÉ LONG TRANSPORT TUNNELS IN INDIAN HIMALAYA FINISHED, PROGRESSING, IN PREPARATION

MARTIN SRB

ABSTRAKT

V minulém desetiletí byla zahájena výstavba dlouhých dopravních tunelů v indických Himálájích ve státech Jammu & Kashmir a Himachal Pradesh. Tato výstavba ukazuje na rychlý rozvoj staveb tunelů v Indii, ale také na problémy a překážky těchto náročných tunelových projektů. Všechny tunely se nacházejí na důležitých dopravních trasách a po dokončení výrazně zlepší přístupnost hraničních oblastí indických Himálájí. Celkem 11 km dlouhý železniční tunel Pir Panjal a nejdelší silniční tunel v Indii a jihovýchodní Asii, 9 km dlouhý tunel Patnitop, již byly dokončeny a jsou v provozu. Další jsou v různém stavu výstavby, nebo přípravy staveb. Všechny uvedené tunely byly a jsou připravovány v úzké spolupráci s mezinárodními konzultanty, a/nebo zhotoviteli, avšak místní investoři (státní organizace) a místní podmínky hrají ve výstavbě tunelů rozhodující roli. V příspěvku bude podán celkový přehled vybraných staveb a informace o postupu výstavby a jejich přípravy. Firmy 3G se podílely na přípravě a realizaci staveb Patnitop, Rothang, Zojila a Z-Morh.

ABSTRACT

Long transport tunnel projects in Indian Himalaya, in states of Jammu & Kashmir and Himachal Pradesh, started in the last decade, and demonstrate both rapid development of transport tunnelling in India, as well as the problems of tunnelling challenges, and project setbacks. All tunnels are on important transport routes and when finished, they will improve accessibility of Indian Himalaya border areas. 11km long Pir Panjal rail tunnel, and the longest road tunnel in India and SE Asia, a 9km long Patnitop Tunnel, have been already finished, and are in operation. Others are in different stage of construction and project preparation. All mentioned tunnels have been prepared in close cooperation with international consultants and/or contractors, however, local owners (state agencies) and local conditions, play a decisive role in project development. General overview of all projects and progress of construction and preparation shall be presented. The 3G companies participated on preparation and realization of projects Patnitop, Rothang, Zojila and Z-Morh.

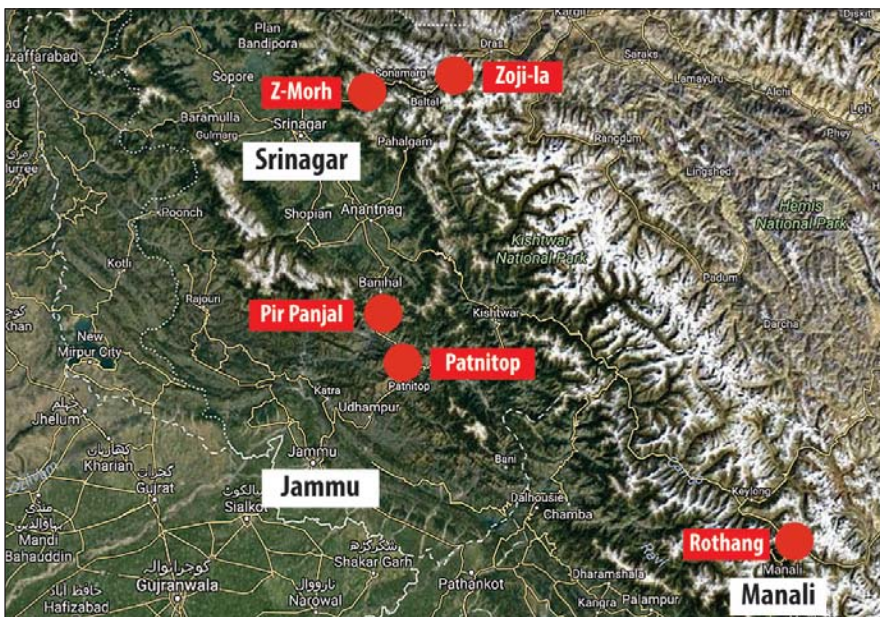
ÚVOD

V severozápadním himálajském státu Jammu & Kashmir je ve stadiu výstavby jednokolejná železniční trať z Jammu do Srinagaru, obsahující četné tunelové úseky. Nejdelší, přibližně 11 km dlouhý tunel pod horským hřebenem Pir Panjal (obr. 1) byl úspěšně proražen v září 2011 a je v provozu od roku

INTRODUCTION

In North-Western Himalayan state of Jammu and Kashmir, a new single track railway line from Jammu to Srinagar is under construction with numerous tunnel sections. The longest tunnel of approx. 11km under Pir Panjal (Fig. 1) mountain range has been successfully broken through in September 2011 and is in operation since 2013, as the first long transport tunnel in Indian Himalaya [1]. Austrian Geoconsult was a lead partner of the Geoconsult – RITES JV for design and construction supervision. The remaining section between the southern portal of this tunnel (and railway line from Srinagar) in Banihal, and Katra (where existing railway from central India ends), is in preparation, and partly under construction, along the re-aligned corridor, and has more than a decade delay, compared to earlier schedules.

Upgrade of the National Highway NH44 (earlier NH-1A), from Jammu to Srinagar to a 4-lane highway has been prepared by the state agency National Highway Authority of India (NHAI) during last decade, and some sections were procured and are realized as a concession projects [4], [6]. The works started in 2011 on the two most difficult sections of the alignment at crossings of



Obr. 1 Oblast projektů
Fig. 1 Project area

2013 jako první dlouhý dopravní tunel v indických Himálajích [1]. Rakouská firma Geoconsult byla vedoucím partnerem sdružení Geoconsult – RITES JV, zajišťujícím projekt a stavební dozor. Připravuje se zbývajících úsek mezi jižním portálem tohoto tunelu ve městě Banihal (kde končí železniční trať ze Srinagaru) a městem Katra (kde stávající železniční trať z centrální Indie končí). Částečně je již ve výstavbě podél upravené trasy koridoru a má více než desetileté zpoždění ve srovnání s původním harmonogramem.

Modernizace národní silnice NH44 (dříve NH-1A) z Jammu do Srinagaru na dálnici se čtyřmi jízdními pruhy byla připravována státním investorem National Highway Authority of India (NHAI – obdoba ŘSD) během uplynulých deseti let. Některé úseky byly zadány a jsou realizovány jako koncesní projekty [4], [6]. V roce 2011 byly zahájeny práce na dvou nejobtížnějších úsecích trasy, na přechodech dvou horských hřebetů Patnitop (tunel 9,2 km dlouhý, ve výšce 2000 m n. m.) a Pir Panjal (tunel 8,5 km dlouhý, 2850 m n. m.). Oba úseky se budují podle koncesních schémat, s dobou trvání koncese 20 let, včetně doby výstavby odhadované na pět let. Tunel Patnitop je nyní dokončen a v provozu (se zpožděním asi 1 rok), Tunel Pir Panjal je stále ve výstavbě, v polovině roku 2017 je dokončeno 90 % ražeb; uvedení do provozu se očekává v roce 2018.

Tunel Rothang pod průsmykem Rothang (8,8 km dlouhý, ve výšce 3978 m n. m.) se nachází mezi dvěma indickými státy Himachal Pradesh a Jammu & Kashmir. Je součástí celoročního silničního spojení do odlehlých oblastí Ladakh na národní dálnici 21 (NH 21) mezi městem Leh a populárním indickým střediskem Manali. Stavba je založena na modelu smlouvy s investorem Navrhni–Nabídní–Postav (DBB). Ražba tunelu byla zahájena v roce 2010 a stále pokračuje od obou portálů. Podle původního harmonogramu měl být tunel uveden do provozu v roce 2015.

Ve státě Jammu & Kashmir jsou ještě dvě velké tunelové stavby: 14 km dlouhý tunel Zojila, který je ve stadiu přípravy výběru dodavatele, a 6,5 km dlouhý tunel Z-Morh, který je ve výstavbě od roku 2014. Smlouva na tunel byla uzavřena na základě modelu Postav–Provozuj–Předej (BOT) s ročními platbami anuity, zatímco o stavbu tunelu Zojila se nyní, po několika kolech nabídek bez vyhlášení vítěze, soutěží podle modelu EPC (Engineering–Procurement–Construction; Inženýring–Výběr dodavatele–Stavba).

Všechny dosavadní tunely se budují podle principů Nové rakouské tunelovací metody (NRTM). Ražba se provádí a nadále předpokládá pomocí trhačích prací s použitím stříkaného betonu a horninových svorníků na primární ostění a monolitického betonu jako definitivního ostění s mezilehlou vodotěsnou izolací. Délka tunelu Zojila je ekonomická pro použití plnoprofilového tunelovacího stroje TBM. Z důvodů částečně špatných horninových poměrů, obtížného přístupu ke stavenišťům a omezeného geologického průzkumu byl ale tunel navržen jako konvenčně ražená stavba. Principy metody NRTM umožní přizpůsobení projektu a stavebního postupu podmínkám zastiženým na stavbě.

Specifickým rysem je to, že tunely mají různé koncepce řešení a to i na stejné dálnici (NH44/NH 1-A), přestože mají stejného zadavatele (NHAI). Důvodem jsou různé zpracovatele projektové dokumentace staveb a neexistence jednotných směrnic pro silniční tunely. Výhody a nevýhody různých koncepcí byly uvedeny v [1], avšak správné porovnání bude

two major mountain ranges of Patnitop (9.2km long at 2000m above sea level) and Pir Panjal (8.5km long at 2850m a.s.l.). Both sections are constructed according to DBFOT concession schemes, with a concession period of 20 years, including construction time estimated for five years. Patnitop tunnel is now finished and in operation (having about 1 year delay), Pir Panjal tunnel is still in construction with about 90% of excavation completed at mid of 2017 and opening to operation expected in 2018.

Rothang Tunnel under Rothang Pass (8.8km long at 3978m a.s.l.), close to the border between two Indian states of Himachal Pradesh and Jammu & Kashmir, is a part of an all year road connection to remote areas of Ladakh on National Highway 21 (NH 21) between Leh and Manali (popular Indian mountain resort). The project is based on a Design-Bid-Build contract model (item rate) with the client Border Roads Organization (BRO). Tunnel excavation started in 2010 and is still progressing from both portals. Original schedule aimed opening to 2015.

There are other two big tunnel projects in Jammu & Kashmir: the 14km long Zojila tunnel which is in procurement preparation stage, and a 6.5km long Z-Morh tunnel under construction since 2014. The Z-Morh tunnel has been awarded on build-operate-transfer (BOT) annuity model, whereas the Zojila tunnel project, after several rounds of bidding without award is now being tendered on the EPC (Engineering – Procurement – Construction) model.

All tunnels so far are constructed using principles of the New Austrian Tunnelling Method (NATM), excavation is done and foreseen mostly by drill&blast, shotcrete and rock bolts are used as a primary support and cast in situ concrete as a final permanent lining with waterproofing membrane in between. Zojila tunnel has a length for economic TBM construction. But due to partly poor ground condition, difficult accessibility of the construction sites and limited ground investigation, the tunnel was designed as conventionally driven. Principles of NATM shall allow adaptation of the design and construction process to the conditions facing on site.

Specific feature is that the road tunnels have different concept solutions, even on the same highway (NH44/NH 1-A) and with the same owner, state road administration (NHAI). This is a result of different consultants for the projects, and not existing unifying guidelines for road tunnels. Pros and cons of different concepts were presented in [1], however, real and sound comparison can be made first after tunnels are completed, and some traffic record data are available.

PATNITOP (CHENANI – NASHRI) TUNNEL – THE LONGEST ROAD TUNNEL IN INDIA

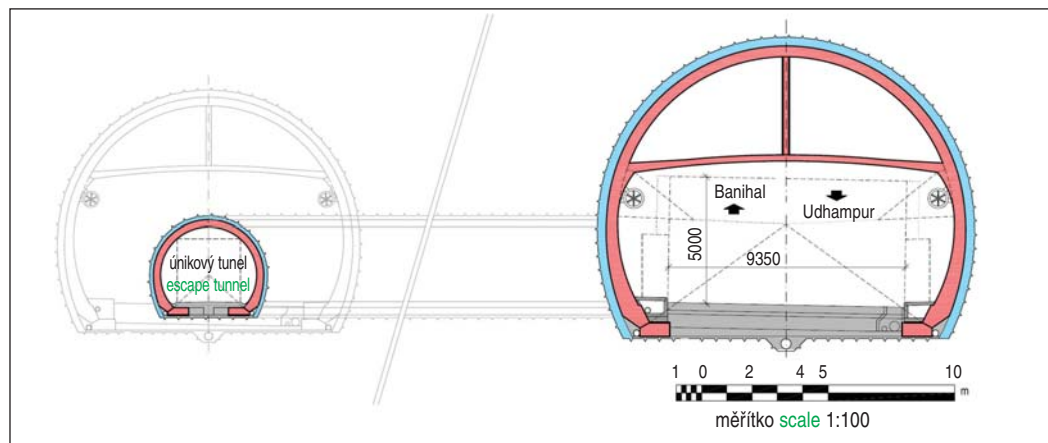
Patnitop (Chenani Nashri) Tunnel, 9.2km long, on the existing NH1A road is a single tube, 2-lane, bidirectional tunnel with parallel escape tunnel. In DPR (detail project report) phase possibility of widening into a second traffic tube was considered. Tunnel alignment is a result of alignment studies performed in 2004–2006 by the author, and the Client's approval of the longest one (base tunnel) variant with overburden of 1000m. "DPR" (Detail Project Report) level defined concept solution (main and escape tunnel) see Fig. 2, cross section, excavation and support, technologies

možné provést teprve po dokončení tunelů a získání informací z jejich provozu.

TUNEL PATNITOP (CHENANI – NASHRI) – NEJDELŠÍ SILNIČNÍ TUNEL V INDIÍ

Celkem 9,2 km dlouhý tunel Patnitop (Chenani–Nashri) na stávající silnici NH 1-A je jednotroubový obousměrný tunel se dvěma jízdniemi pruhy a s paralelním únikovým tunelem. Ve fázi zpracování přípravné dokumentace Detail Project Report – DPR (obdoba DUR), se uvažovalo o možnosti pozdější realizace druhé tunelové trouby. Trasa tunelu je výsledkem studií prováděných v letech 2004–2006 autorem a rozhodnutím investora pro nejdelší variantu (bázový tunel) s nadloží vysokým 1000 metrů. Projekt (ve fázi DPR) definoval koncepci řešení (hlavní tunel a únikový tunel, obr. 2), příčný řez, ražbu a zajištění výrubu, technologii tunelu (E/M) a odpovídající specifikace, výkazy výměr a předběžné odhady nákladů. Projekt byl zpracován firmou D2 Consult Prague (nyní 3G Consulting Engineers s.r.o.), subdodavatele pro tunele firmy Louis Berger Int. V roce 2010 byla udělena koncese na projekt, financování, provozování a předání po 20 letech (DBFOT) indické skupině IL&FS Transportation Networks Ltd (ITNL). Firma Leighton Wellspun Co. (Austrálie) byla vybrána jako hlavní dodavatel stavby včetně technologických souborů, avšak z důvodů smluvních problémů dodavatel odešel v roce 2013 ze stavby a stavba byla dokončena jinými dodavateli. Společnost 3G Consulting Engineers s.r.o. působila jako technický poradce během provádění ražeb firmou Leighton. Stavba byla uvedena do provozu po několika prodlouženích termínů v dubnu 2017 (obr. 3). Detaily stavby viz [3], [5], [7].

Koncepce tunelu tak, jak je definována ve stadiu DPR, zůstala nezměněná s případnou možností výstavby druhé tunelové trouby později.



Obr. 2 Koncepční řešení silničního tunelu Patnitop (Chenani – Nashri)
Fig. 2 Patnitop (Chenani – Nashri) road tunnel concept solution

(E/M), and corresponding specifications, BOQ and cost estimates and was made by D2 Consult Prague (now 3G Consulting Engineers s.r.o.) as a subcontract for Louis Berger Int. In 2010, concession to design, build, finance, operate and transfer after 20 (DBFOT) years was awarded to an India-based group IL&FS Transportation Networks Ltd (ITNL). Leighton Wellspun Co. (Australia), was chosen as a general contractor for construction including E/M systems, however due to contractual disputes contractor left the project in 2013, and project was completed by local contractors and opened for traffic after several deadline extensions, in April 2017 (Fig. 3). 3G Consulting Engineers s.r.o. assisted Leighton during tunnel excavation works. For project details see [3], [5], [7].

Tunnel concept as defined in DPR stage remained unchanged with a potential for construction of the second tube later.

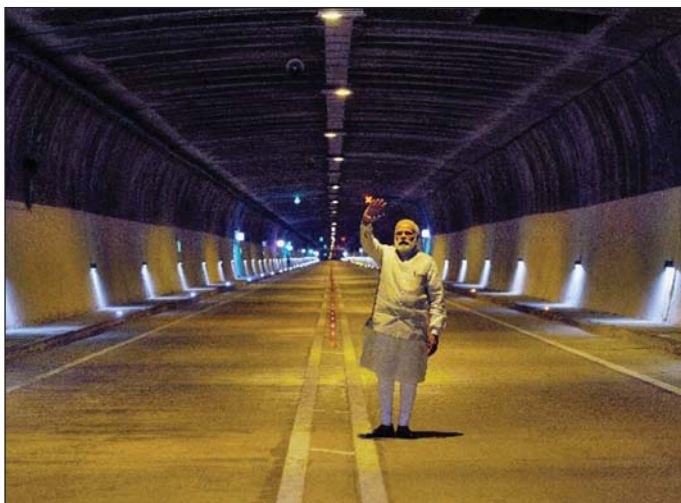
PIR PANJAL ROAD TUNNEL

The Pir Panjal road tunnel is located between Banihal (direction to South-Jammu) and Quazigund (direction to North-Srinagar) on NH-1A road and has been prepared in DPR phase as a 8.45km, single tube, 2-lane, bidirectional tunnel with an escape channel under the carriageway. This concept was changed by the Concessionaire during the detail design stage to a twin tube, unidirectional concept as shown in Figure 4, and approved by the Client NHAI.

The concept foresees two tunnel tubes with one traffic lane and one emergency lane each. The unidirectional operations and the twin tunnels with cross passages for escape possibility into other tube in case of fire or emergency are beneficial for the safety of the tunnel users, and has been designed in compliance with the European Directive 2004/54/EC on minimum safety requirements for tunnels in the trans-European road network.

Concessionaire for the project is Navayuga Quazigund Expressway Private Limited, the Contractor is Navayuga Engineering Company Ltd. and Geoconsult, an Austrian Engineering group, is the Detailed Design Consultant.

Geoconsult together in Joint-Venture with RITES Ltd. did also design and supervision for the rail tunnel crossing the Pir Panjal range in close distance from road tunnel and at just slightly lower elevation, as mentioned before.



Obr. 3 Ministerský předseda Narendra Modi uvádí tunel Chenani – Nashri pod hřebenem Patnitop do provozu
Fig. 3 Prime Minister Narendra Modi opens Chenani – Nashri Tunnel under Patnitop

SILNIČNÍ TUNEL PIR PANJAL

Silniční tunel Pir Panjal leží mezi městy Banihal (ve směru na jih) a Quazigund (ve směru na sever na Srinagar) na silnici NH44 (NH-1A). Tunel byl připraven do stadia prováděcího projektu jako 8,45 km dlouhý jednotrubový obousměrný tunel se dvěma jízdními pruhy, s únikovou chodbou pod vozovkou. Tato koncepce byla ve stadiu prováděcího projektu změněna koncesionářem na koncepci dvou jednosměrných tunelových trub, jak je zřejmé z obr. 4, a tato změna byla schválena investorem NHAI.

Tato koncepce předpokládá dvě tunelové trouby, každou s jedním dopravním pruhem a nouzovým pruhem. Jednosměrný provoz a dvě tunelové trouby s propojkami umožňujícími únik do druhé trouby v případě požáru nebo při mimořádných událostech přispívají k bezpečnosti provozu a uživatelů tunelu. Byly navrženy v souladu s evropskou směrnicí 2004/54/EC o minimálních bezpečnostních požadavcích na tunely transevropské silniční sítě.

Koncesionářem pro stavbu je společnost Navayuga Quazigund Expressway Private Limited, dodavatelem stavby je společnost Navayuga Engineering Company Ltd a rakouská inženýrská skupina Geoconsult je zpracovatelem prováděcího projektu.

Geoconsult zpracoval projekt a prováděl dozor při výstavbě železničního tunelu pod sedlem Pir Panjal nedaleko silničního tunelu a v menší nadmořské výšce, jak je uvedeno výše.

Koncesní smlouva byla podepsána v červenci 2010, ražba tunelu byla zahájena v roce 2011 a stále pokračuje (s několika přestávkami), (obr. 5). V polovině roku 2017 byla dokončena ražba kaloty na 91 % (západní/severní tunelová trouba v délce 3,6 km ze severu a 4,2 km z jihu, východní/jižní trouba v délce 3,6 km ze severu a 4,3 km z jihu).

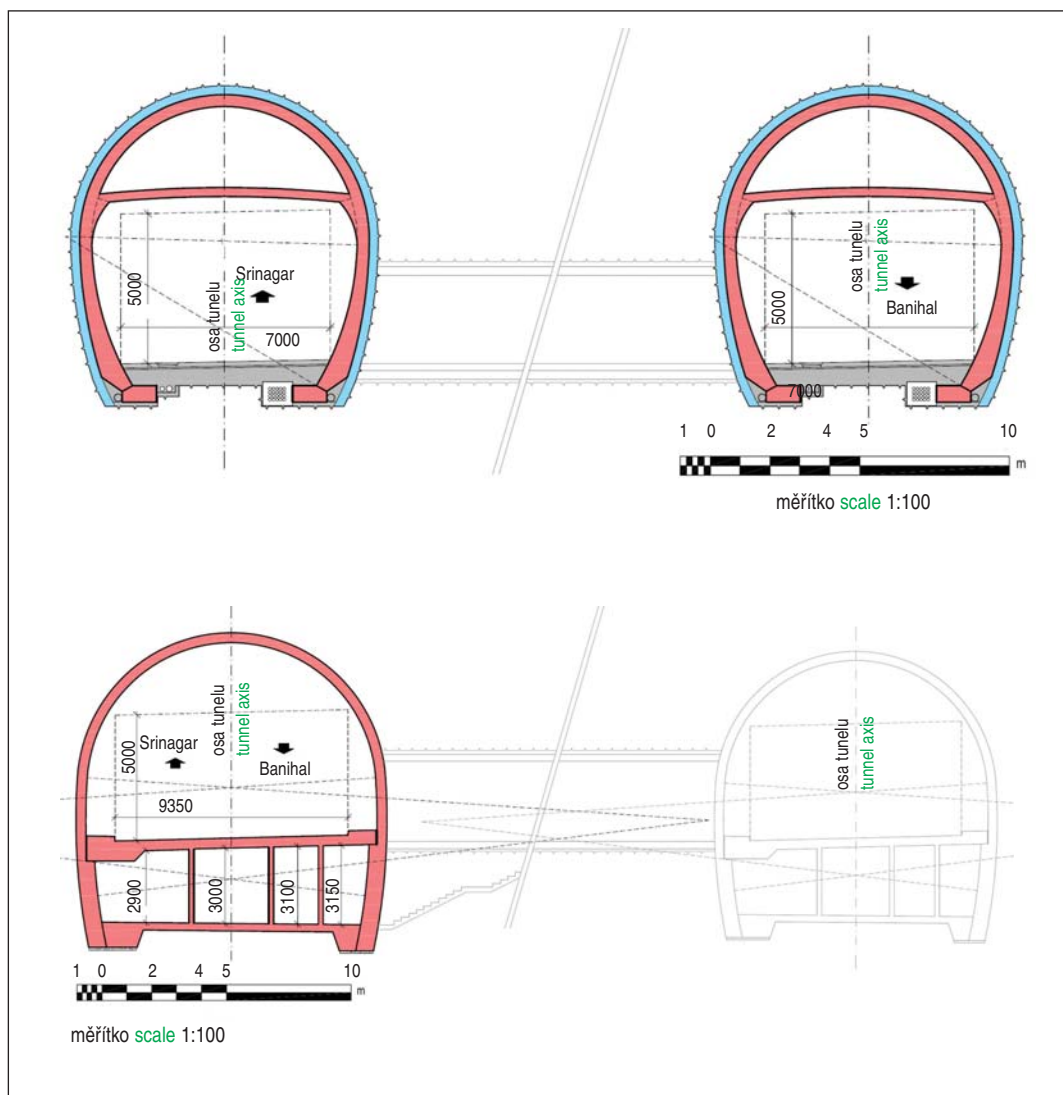
Koncepce dvou menších souběžných tunelových trub spojených každých 500 m propojkami (pro nouzový únik do druhé trouby) může prokázat výhody při ražbách.

Ražba se provádí nejprve v kalotě a následně se razí lavice. Používají se standardní techniky ražby a zajištění výrubu (NRTM) včetně sledování pravidelným geotechnickým monitoringem.

Dokončení ražeb se očekává na konci roku 2017 a provoz má být zahájen v roce 2018.

SILNIČNÍ TUNEL ROTHANG

Stavba tunelu Rothang je stavba důležitého silničního tunelu v Himálaji zajišťujícího celoroční spojení mezi střediskem



Obr. 4 Silniční tunel Pir Panjal, nové a původní koncepční řešení
Fig. 4 Pir Panjal road tunnel new, and original concept solution

The concession agreement was signed in July 2010, the excavation of the tunnel started in 2011 and is still proceeding continuing (with several interruptions) (Fig. 5). In mid of year 2017, top heading excavation was completed to 91% (western/northbound tube 3.6km from the North and 4.2km from the South, eastern/southbound tube 3.6km from the North and 4.3km from the South).

The concept of two smaller parallel tubes connected each 500m with cross passages (for emergency escape into second tube) proved also to have advantages for excavation works and had also smaller stability problems. Excavation is performed by top heading excavation and subsequent benching. Standard excavation and support techniques are used, as the New Austrian Tunnelling Method is being followed regular monitoring is being done.

Completion of excavation is expected for end of year 2017 and traffic operation in 2018.

ROTHANG ROAD TUNNEL

Rothang tunnel project is an important road tunnel in the Himalya providing all weather connectivity between Manali and Keylong, the capital of Lahaul-Spiti District located on Manali – Leh National Highway (NH 21) in Himachal Pradesh. It is underpassing almost 4000m high Rothang Pass, opened just half of the year for the traffic.

Manali a městem Keylong (hlavní město oblasti Lahaul–Spiti) ležícím na národní silnici Manali – Leh (NH 21) ve státu Himachal Pradesh. Současná silnice je otevřena pro dopravu jen asi polovinu roku, přechází téměř 4000 m vysoký průsmyk. Tunel je 8,8 km dlouhý, jednotroubový, obousměrný, s únikovým kanálem pod vozovkou. Nachází se ve výšce přes 3000 m nad mořem a jeho maximální nadloží je vysoké téměř 2000 m. Koncepční řešení je vidět na obr. 6. Štola pro nouzový únik je umístěna pod vozovkou a přístupná každých 500 m nouzovými průchody. Každé dva kilometry jsou v tunelu otáčecí zálivy (tři zálivy).

Stavba je založena na smlouvě typu položkových cen (Item Rate Contract – FIDIC) a investor BRO (státní organizace Border Roads Organization) vybral v roce 2009 jako dodavatele stavby tunelu společný podnik SAJV (Strabag-Afcons JV). Ražba tunelu byla zahájena v roce 2010 a tunel měl být dokončen na konci roku 2015. Projektantem je australská firma SMEC, stavební dozor investora (Engineer – podle FIDIC) pro tuto stavbu zajišťuje rakouská firma D2 Consult International ve společném podniku s indickou firmou ICT. Kontrolu projektu zajišťuje rakouská společnost 3G (Geotechnische Gruppe Graz) ve sdružení s firmou Vayamtech.

Tunelářské práce postupují od obou portálů, se zimní přestávkou přibližně 6 měsíců na severním portálu (obr. 7). Prorážka kaloty od obou portálů se očekává v říjnu 2017 mezi staničeními 5+000 a 5+050.

Zvláštním znakem ražby tunelu je geologická složitost oblasti, problémy se svíráním (konverencí) výrubu, bobtnáním, náhlými přítoky vody, zvodnělými „tekoucími“ horninami a vysokými teplotami horniny [2]. Tunel Rothang zastihl nejtěžší podmínky z dosud vyražených dopravních tunelů, které jsou demonstrovány například ražbou kaloty 500 m dlouhého úseku v poruchové zóně tunelu v lokalitě Seri Nala, která trvala přes tři roky.

TUNEL ZOJILA

Tunel Zojila je důležitá součást silničního celoročního spojení města Srinagar do města Leh. Leží v severovýchodní části státu Jammu & Kashmir na národní dálnici NH1. Tunel umožní podchod pod velmi obtížným průsmykem Zojila (3500 m n. m.), který je obvykle uzavřen po dobu až šesti měsíců v roce.



Obr. 5 Silniční tunel Pir Panjal, jižní portál
Fig. 5 Pir Panjal road tunnel, South portal

Tunnel is 8.8km long, single tube, 2-lane, bidirectional tunnel, with an escape channel under the carriageway. Tunnel is located at elevation of more than 3000m with max. overburden of almost 2000m. Concept solution can be seen on Fig. 6 The emergency escape tunnel is located below the pavement and is accessible at 500m distances through emergency passages. Three turning caverns are located at distances of 2km.

Project is based on Item Rate Contract (FIDIC) and the Client BRO (Border Roads Organization state agency) has awarded construction of the tunnel to SAJV (Strabag-Afcons JV) in 2009, tunnel excavation works started in 2010, and the tunnel should have been completed at the end of 2015. Designer is Australian SMEC, the Engineer (according to FIDIC) for the project is Austrian D2 Consult International in JV with Indian ICT, and Proof Checking Engineer is Austrian 3G company in JV with Vayamtech.

Tunnelling works are progressing from both portals, with winter interruption for approximately 6 months at the North portal (Fig. 7). Breakthrough of the top heading from both portals is expected between chainage 5+000 and 5+050 during October 2017.

Particular features of tunnel excavation is geological complexity of the area, encountered problems of squeezing, swelling, sudden ingress of water, running/flowing ground, and high temperature of the ground [2]. Rothang tunnel is coping with the most difficult conditions of the so far excavated long transport tunnels, demonstrated by e.g. more than a 3-years top.

ZOJILA TUNNEL

The Zojila tunnel is an important part of the all-weather road connection from Srinagar to Leh and is located in the north east part of Jammu&Kashmir along the national highway NH1. The tunnel would provide an underpass of the very difficult Zojila pass (3500m) which is usually closed up to 6 month a year.

The tunnel is designed as a single tube, two lane, bidirectional tunnel with a parallel egress tunnel and a length of 14.1km. The portals are situated in Baltal and Meenamarg which leads to a continuous raising inclination from west to east portal. Along the tunnel three vertical ventilation shafts with depth of up to 480m are situated and cross passages will connect the main tunnel with egress tunnel. The eastern portal will have an elevation of approx. 3300m and the maximum overburden is approx. 600m. Approach roads with lengths of some km including snow galleries and minor bridges will be required.

Several BOT tenders by BRO (Border Road Organization) and NHIDCL (National Highways & Infrastructure Dev. Corp.) were not successful and the tunnel project could not be awarded from 2013 to 2016. The construction period of the tunnel is estimated with approx. 7 years. At the moment NHIDCL is setting up to implement the project under EPC – Engineering, procurement & construction mode, wherein government provides 100% funding [8].

Z-MORH

The Z-Morh tunnel is, similar to Zojila tunnel part of the all-weather road connection from Srinagar to Leh. It is located in the north east part of Jammu & Kashmir along the

Tunel je navržen jako 14,1 km dlouhá jednotrubní obousměrná konstrukce s dvěma jízdními pruhy a souběžnou únikovou štolou. Portály se nacházejí u poutního místa Baltal a vojenského kontrolního stanoviště Meenamarg, což vede k trvalému stoupání od západního k východnímu portálu. Na trase tunelu jsou tři svislé větrací šachty hluboké až 480 metrů a hlavní tunel bude spojen s únikovou štolou propojkami. Východní portál bude v nadmořské výšce přibližně 3300 m a maximální výška nadloží je přibližně 600 m. Budou potřebné několik kilometrů dlouhé přístupové komunikace včetně protilavinových galerií a menších mostů.

Několik soutěží na realizaci vyhlašováných zakázek (BRO – Border Road Organization) bylo neúspěšných a od roku 2013 do roku 2016 se nepodařilo uzavřít smlouvu na stavbu. Doba výstavby tunelu se odhaduje přibližně na sedm let. V současné době nově vzniklý státní zadavatel NHIDCL připravuje realizaci tunelu podle zásad EPC – Engineering, Procurement & Construction, se 100% financováním vládou [8].

Z-MORH

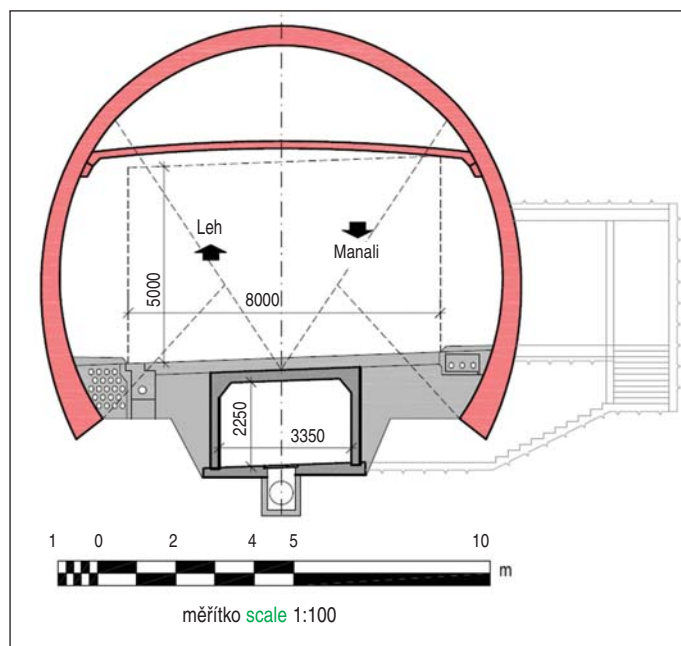
Tunel Z-Morh je podobný tunelu Zojila, leží na úseku celoroční komunikace z města Srinagar do města Leh. Leží v severovýchodní části státu Jammu & Kashmir, na národní dálnici NH1, mezi vesnicí Gagangeer a turistickým střediskem Sonamarg. Tunel vytvoří alternativní trasu pro úsek NH1 v úzkém údolí s lavinovými oblastmi, které se musí zavírat během zimních období (obr. 8).

Tunel je 6,5 km dlouhý, jednotrubový, se dvěma jízdními pruhy, obousměrný se souběžnou únikovou štolou. Nadmořská výška tunelu je přibližně 2600 metrů, maximální výška nadloží je kolem 1100 m. Součástí stavby jsou nové přístupové komunikace, především v oblasti jižního portálu.

Tunel se staví podle modelu Navrhni, Postav, Financuj, Provozuj a Předěj (Design, Build, Finance, Operate and Transfer – DBFOT), firmami IL&FS Transportation Networks Ltd a SOMA Enterprise Limited (SOMA) [10]. Smlouva byla uzavřena v roce 2014. Práce na tunelu pokračují, i když problémy týkající se získávání pozemků vedly ke zpožděním.

SHRNUTÍ – ZÁVĚR

Před šesti lety, v roce 2011, byl úspěšně proražen nejdelší, 11 km dlouhý železniční tunel pod pohořím Pir Panjal a tři



Obr. 6 Konceptní řešení silničního tunelu Rothang
Fig. 6 Rothang road tunnel concept solution

national highway NH1 between the villages Gagangeer and the tourist resort Sonamarg. The tunnel will create an alternative route for a NH1 section in a narrow valley with avalanche areas which must be closed during certain periods in winter (Fig. 8).

The tunnel is a single tube, two lane, bidirectional tunnel with a parallel egress tunnel and a length of 6.5km. The tunnel elevation is approx. 2600m with a maximum overburden of approx. 1100m. New approach roads, especially in the south portal area are also part of the project.

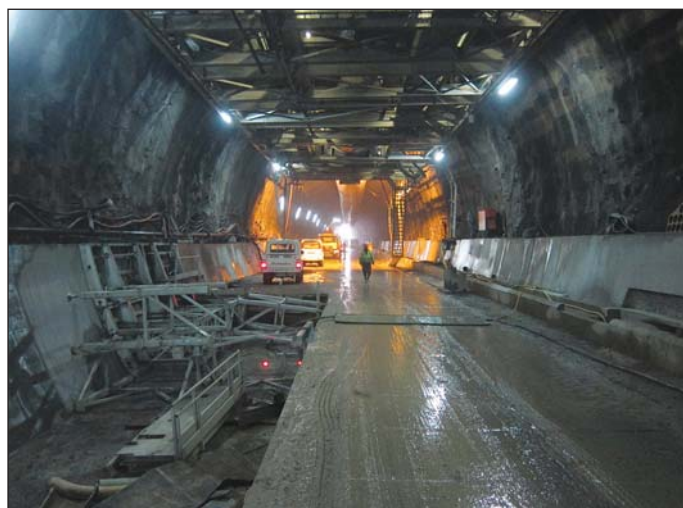
The tunnel is built under Design, Build, Finance, Operate and Transfer (DBFOT) Annuity model by the Srinagar-Sonamarg Tunnelway Limited (SSTTL) the Special Purpose Vehicle set up by the IL&FS Transportation Networks Ltd. and SOMA Enterprise Limited (SOMA) for execution of the project [10]. The contract was awarded in 2014. The works for the tunnel are ongoing even though issues concerning land acquisition have resulted in delays.

SUMMARY – CONCLUSION

Six years ago, in 2011, the longest rail tunnel of approx. 11km under Pir Panjal mountain has been just successfully broken through, and three long road tunnels in Indian North-West Himalaya were at the beginning of tunnel excavation with expected breakthrough in 3 – 4 years. Now, in the mid of 2017, just one of these challenging road projects (Patnitop tunnel) is completed and in operation. Two others are competing with problems, not just geotechnical ones, but both are still progressing. There is a reasonable hope and chance, that they will be finished and put in operation in not so distant future.

The other two long road tunnels (Zojila, Z-Morh) are still in preparation, with cancelled tender processes and other administrative preparation constrains including change of state agencies responsible for the projects.

There are always some reasons for delays (and connected cost escalation) of large project's preparation and realization. It happens sometimes also in rich developed countries, with



Obr. 7 Rothang, realizace vozovky a vnitřního ostění, použití systému Rowa
Fig. 7 Rothang, realisation of roadway and inner lining, application of Rowa system

dlouhé silniční tunely v indických severozápadních Himálajích byly na začátku ražeb s očekávanými prorážkami za tři až čtyři roky. Dnes, v polovině roku 2017, je dokončena a provozována jediná z těchto náročných silničních staveb (tunel Patnitop). Další dvě se setkávají s mnoha problémy, a to nejen geotechnickými. Přesto ale obě stavby stále pokračují. Existuje přiměřený předpoklad, že budou dokončeny a uvedeny do provozu v nedaleké budoucnosti.

Ostatní dva dlouhé silniční tunely (Zojila a Z-Morh) jsou dosud ve stadiu přípravy a počátku realizace, s omezeními vyplývajícími ze zrušených soutěží a jiných administrativních přípravných činností včetně změn státních organizací odpovědných za tyto stavby.

Vždy existují nějaké důvody pro zpoždění (a související zvyšování cen) přípravy a realizace velkých staveb. Dochází k tomu i v bohatých rozvinutých zemích, se zkušenými a technicky schopnými investory s adekvátními lidskými a finančními kapacitami. Proto by bylo překvapivé, kdyby nové, jedinečné a extrémně náročné tunelové stavby v zemi bez příslušných zkušeností a v odlehlých místech byly řízeny a dokončeny bez jakýchkoli problémů a podle harmonogramů. Vezmeme-li v úvahu dané podmínky, je dnešní stav staveb přiměřeně dobrým výsledkem. Žádná ze staveb nebyla zrušena, jedna je dokončena se zpožděním asi jeden rok, dvě stavby plynule pokračují a realizace a příprava dalších dvou ještě nebyla zrušena.

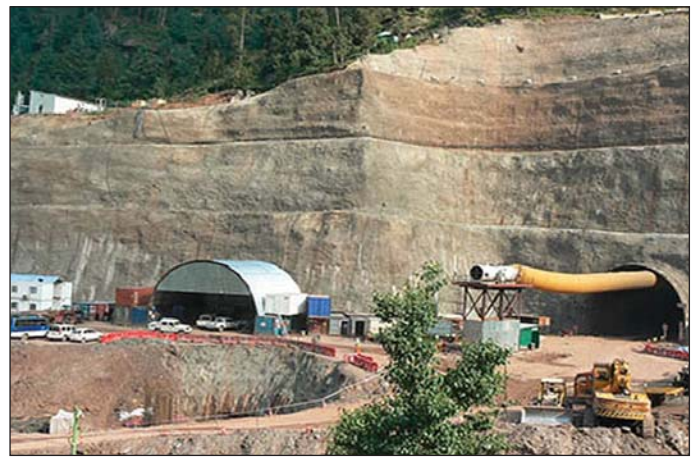
Jediná dokončená stavba, tunel Patnitop, podle názoru autora, těžila ze správné koncepce, schopného dodavatele tunelových staveb na začátku výstavby, relativně příznivých geotechnických podmínek a z relativně dobré polohy s přihlédnutím k možnostem dopravy a logistiky stavby.

Lze jen doufat, že aspoň některá z ponaučení se využijí na budoucích tunelových stavbách, a to nejen v indických Himálajích.

**Ing. MARTIN SRB, Ph.D., srb@3-g.cz,
3G Consulting Engineers s.r.o.**

Recenzovali Reviewed: Dr. Florian Krenn, Ing. Jiří Hořejší

Tento příspěvek byl zpracován s podporou grantu TAČR-TE01020168 - projekt CESTI



**Obr. 8 Portál tunelu Z-Morh
Fig. 8 Z-Morh tunnel portal**

relevant experience and technically competent clients, with adequate personnel, and financial capacities. Therefore it would be close to miracle, if the new, unique and extremely challenging tunnelling projects in country without respective experience and in remote locations, would be managed and completed without any problems, and on schedules. Today's state of projects is a reasonably good result, considering given conditions. None of the projects was cancelled, one is finished with about a year delay, construction of the two others is steady progressing, and preparation of the other two has not yet been cancelled.

The only finished project, Patnitop tunnel, to author's opinion, benefited from the sound concept, competent tunnel contractor at the beginning, relatively favourable geotechnical conditions, as well as from relatively good location, considering transport possibilities and project logistics.

It can be just believed, that at least some of the lessons learned, shall be used for the future projects, and not only in Indian Himalaya.

**Ing. MARTIN SRB, Ph.D., srb@3-g.cz,
3G Consulting Engineers s.r.o.**

This paper was prepared with the support of the Technological Agency of the Czech Republic grant TE01020168 - CESTI project.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Pir Panjal tunnel. Construction World India, Special Project, Feb 2013
- [2] Bernard, R., Döllmann, O., L. Kunc, L. Experiences by Excavation of Rotheng Highway Tunnel in Himalaya near Manali. *Proceedings of the Underground Construction Conference*, Prague, 2016
- [3] Srb, M., Hilar, M., Svoboda, P. Long Highway Tunnels in Indian Himalaya under Construction. *Tunel*, 2/2013. ISSN 1211-0728
- [4] Srb, M., Svoboda, P., Nosek, J. Modern Transport tunnels under Indian Himalayas. *Proceedings of the World Tunnelling Congress*, Vancouver 2010
- [5] Hilar, M., Srb, M. Design of the Patnitop Tunnel. *Proceedings of the World Tunnelling Congress*, Agra 2008
- [6] Svoboda, P., Srb, M. Tunely na silnici NH – 1A z Jammu do Srinagaru – Kashmir, Indie. *Tunel*, 1/2007
- [7] Svoboda, P., Srb, M. Patnitop Tunnel – Nejdelší silniční tunel v Indii. *Tunel*, 4/2007
- [8] Er. Nazir Ahmed The Zojila file. Greater Kashmir. Feb 7 2017, Srinagar
- [9] NHIDCL
- [10] Umer Maqbool Z-Morh tunnel unlikely to meet 2020 deadline. Greater Kashmir. Publish date Dec 20 2016

VÝZKUMNÉ CENTRUM CESTI – APLIKAČNÍ VÝSLEDKY CESTI RESEARCH CENTRE – APPLICATION RESULTS

PETR BÍLÝ, MARCELA PAVLÍKOVÁ

ABSTRAKT

Nejlepší prezentací jakékoliv výzkumné činnosti jsou bezesporu hmatatelné výsledky. Rejstřík informací o výsledcích (RIV) uvádí, že doposud bylo v rámci projektu Centra pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI) dosaženo celkem 415 výstupů různých kategorií podle současné metodiky hodnocení výsledků výzkumu. Kvůli časově náročnému procesu zařazování výsledků jsou zde ale uvedené pouze ty, které byly dosaženy do konce roku 2015. I když značné množství z nich jsou ty publikační, je nutné zdůraznit, že centrum CESTI se soustřeďuje zejména na aplikační výsledky typu patent, užitný vzor, prototyp, funkční vzorek, ověřená technologie, příp. certifikovaná metodika a softwarový produkt. Takových mělo CESTI do konce roku 2016 na svém kontě už více než sedmdesát. Článek představuje některé ze zajímavých aplikačních výsledků. Jelikož výsledky balíčku „WP4: Tunely – pokročilé technologie a efektivní technická řešení“ jsou podrobněji prezentovány v dalších dvou článcích věnovaných projektu CESTI uveřejněných v tomto čísle časopisu, zaměří se článek na vybrané výsledky ostatních pracovních balíčků.

ABSTRACT

The best presentation of any research activity is undoubtedly provided by tangible results. The index of information about results states that the total of 415 results of various categories of research have been so far achieved within the framework of the Centre for Efficient and Sustainable Transportation Infrastructure (CESTI) according to the current methodology for assessing results. Because of the time consuming process of including results, only the results achieved by the end of 2015 are presented here. Even though a significant amount of them are from the publication category, it is necessary to emphasise the fact that the centre is focused first of all on application results of the type of patents, utility models, prototypes, functional samples, verified technologies or certified methodologies and software products. The CESTI had over seventy application results of this type by the end of 2016. The paper introduces some of the interesting application results. Since the results of the WP4 package “Tunnels – advanced technologies and effective technical solutions” are presented in more detail in other two papers dedicated to the CESTI project published in this journal issue, this paper will be focused on selected results of the other work packages.

EMULZNÍ STUDENÉ ASFALTOVÉ SMĚSI

V oblasti silničních staveb je snahou řešitelů zlepšit funkční parametry konstrukčních vrstev vozovky z hlediska trvanlivosti a životnosti, hledat nová materiálová řešení, optimalizovat systémy odvodnění vozovek či systémy obnovy a údržby vozovek. Při všech činnostech je kladen důraz na podporu maximální recyklovatelnosti a využívání recyklovaných a odpadních materiálů.

Jedním ze způsobů, jak v technologii asfaltových směsí podstatně snížit energetickou náročnost a ve zvýšené míře odstranit emise skleníkových plynů, je obalování kameniva asfaltovou emulzí při běžné teplotě bez potřeby ohřevu, navíc s možností použití i zavlhlého kameniva.

Na základě dílčího výstupu „Soubory technických specifikací a parametrů návrhu směsí NTAS s R-materiálem pro inovaci TP238“ (NTAS = nízkoteplotní asfaltové směsi) z roku 2015 bylo realizováno praktické ověření upravených typů nízkoteplotní asfaltové směsi, a to s využitím buď nově zaváděných přísad vhodných pro výrobu asfaltové směsi s doplňkovým označením „NT“ (nízkoteplotní), nebo s využitím konceptu, při kterém se v návrhu asfaltové směsi uplatní kombinace nízkoviskózní či nízkoteplotní přísady společně s oživovací látkou na bázi minerálního oleje nebo obnovitelných přírodních zdrojů (např. řepkový olej) a minimálně 20 % hm. asfaltového R-materiálu.

Pro první typ technického konceptu byly realizovány zkušební úseky na účelových komunikacích či na silnici III. třídy, a to s aplikací do standardní asfaltové směsi typu AC (asfaltový beton). Aplikována byla pojiva, jež byla před vlastní výrobou asfaltové směsi upravena buď nanochemickým typem NT přísady, nebo tenzidickým typem přísady. První typ přísady

EMULSION COLD ASPHALT MIXTURES

The effort of researchers in the area of road construction is to improve functional parameters of roadway structural courses in terms of durability and service life, to search for new material solutions, optimise roadway drainage systems or systems of renovation and maintenance of roadways. In all activities the stress is put on the support of maximum recyclability and application of recycled waste materials.

One of the ways to reduce the power demands in the technology of asphalt mixtures and to an increasing extent remove greenhouse gas emissions is coating of aggregates with asphalt emulsion at normal temperature, without the need for heating, in addition with the possibility of using even wet aggregates.

The practical verification of modified types of low-temperature asphalt mixture was realised on the basis of the partial output “Sets of technical specifications and parameters of the design of LTA mixtures with R-material for innovation TP238” (LTA = low temperature asphalt) from 2015, using newly introduced additives suitable for the production of the asphalt mixture with additional designation “LT” (low temperature) or using a concept where a combination of low-viscosity or low-temperature additive together with a mineral oil or a rejuvenating agent based on renewable natural sources (e.g. oilseed rape) and at least 20% of weight of asphalt R-material.

Testing sections on private roads or tertiary roads were realised for the first type of the technical concept with the application into standard AC-type (asphalt concrete) mixture. The binding agents which were applied were modified prior to the production of the asphalt mixture either by a nanotechnical-type of an LT additive or a tensidic-type additive. The first



Obr. 1 Zkušební úsek Terešov – Biskoupky – Vejvanov
Fig. 1 Testing section Terešov – Biskoupky – Vejvanov

obecně vytváří sdružený chemo-mechanický účinek, kdy může zlepšit charakteristiky povrchové aktivity při obalování kameňů – upraví povrchové napětí, tím zjednoduší zpracování, což vede k možnosti snížit výrobní teplotu. Současně s tím se zlepšuje přilnavost a jako další vedlejší efekt, který byl při vlastní realizaci prokázán, omezuje se i charakteristický zápach horké asfaltové směsi, tzn. účinek pro lepší pracovní prostředí. Druhý typ přísady (např. použitá CECA Base nebo REDISSET) umožňují výhradně zlepšit charakteristiky povrchového napětí – v tomto případě je snížena a tím zlepšena zpracovatelnost, díky čemuž lze opět snížit pracovní teplotu. Při reálných zkušebních úsecích se tak podařilo pokládku provádět při teplotě okolo 130 °C.

V druhém případě byl realizován větší zkušební úsek na silnici III. třídy mezi obcemi Terešov a Vejvanov. V tomto případě byly ověřeny tři nové typy syntetických vosků, a to v různém množství dávkování přísady v asfaltovém pojivu a technologie pěnoasfaltové směsi. Uvedené bylo kombinováno s rejuvenátorem, který se použil pro zlepšení aktivace asfaltového pojiva v R-materiálu (recyklovaném materiálu). Aplikovány byly dva typy asfaltové směsi – ACL 16+ v ložní vrstvě s 60 % asfaltového R-materiálu a ACO 11+ v obrušné vrstvě s 40 % asfaltového R-materiálu. Asfaltová směs byla dovezena při teplotě 128–132 °C, přičemž hutnění bylo zahájeno při teplotě 120–125 °C. Hutnění bylo průběžně kontrolováno s konečným provedením ověřovací zkoušky míry zhutnění, jakož i s odběrem zkušebních vývrtů a provedením kontrolních zkoušek a rozborů.

Ve všech provedených případech byla ověřena funkčnost navržených typů asfaltové směsi, byl ověřen pozitivní přínos aplikace rejuvenátoru při vyšším podílu R-materiálu a současně byla prokázána dobrá zpracovatelnost i při nižší pracovní teplotě v průběhu rozprostírání a následného hutnění asfaltové směsi. Úseky jsou v rámci další aktivity centra CESTI zařazeny do monitoringu s pravidelnými vizuálními prohlídkami a odběrem zkušebních vývrtů pro ověření vývoje funkčních charakteristik v čase (obr. 1 a 2).

SOFTWAREVÝ PRODUKT RIRI

Program RIRI by vytvořen za účelem hodnocení geometrické kvality vrstev vozovek pozemních komunikací z dat laserového skenování. Umožňuje provádění analýzy podélných a příčných nerovností, měřených standardně latí dle ČSN EN 13036-7, a mezinárodního indexu nerovnosti. Vypočtená data

typu of the additive generally creates a combined chemo-mechanical effect capable of improving characteristics of surface activity in the process of coating the aggregates. It changes the surface stress, thus simplifies processing, which leads to the possibility of reducing the production temperature. Concurrently with this process, the bond strength increases and, as an additional side effect proved during the realisation, restricts even the characteristic bad smell of a hot asphalt mixture, which means an effect for better working environment. The other additive types (for example the used CECA Base or REDISSET) allow exclusively for improving characteristics of the surface tension – in this case reduce, thus improve the workability, owing to which fact it is again possible to reduce the working temperature. In this way the placement of the mixture was successfully carried out at temperature about 130°C in realistic testing sections.

In the second case, a larger testing section was realised on the tertiary road between the villages of Terešov and Vejvanov. In this case three new types of synthetic waxes were verified for various dosing rates of the additive in the asphalt binding agent and the foam-asphalt mixture technology. The above-mentioned procedure was combined with a rejuvenator, which was used for improving the activation of the asphalt binder in the R-material (recycled material). Two asphalt mixture types were applied – ACL 16+ in the base course with 60% of asphalt R-material and ACO 11+ in the wearing course with 40% of asphalt R-material. The asphalt mixture was brought at the temperature of 128-132°C and compacting started at the temperature of 120-125°C. The compaction was continually checked with the final execution of a verification test of the rate of compaction, taking testing core samples and conducting check tests and analyses.

In all realised cases the functionality of the proposed types of asphalt mixtures was verified, the positive contribution of the application of the rejuvenator at a higher proportion of the R-material and, at the same time, good workability even at a lower working temperature during spreading and subsequent compacting of the asphalt mixture was proved. The sections are included within the framework of another activity of the CESTI centre into the monitoring with regular visual inspections and taking testing core samples for the verification of the development of functional characteristic with time (see Figures 1 and 2).



Obr. 2 Kontrola pokládky ložní vrstvy 23. 10. 2016
Fig. 2 Checking the laying of the base course 23rd October 2016

je možné v programu prohlížet a lokalizovat tak specifické úseky a jim odpovídající parametry. Dále je možné využít export dat pro prohlížení v jiných nástrojích a tvorbu protokolů. Software byl vytvořen v programovém jazyce Python. Inovovaná verze umožňuje změnu délky latě při měření nerovností, pokročilé prohlížení výsledků analýzy čtvrtvozidla v jednom grafu společně s podélným profilem a generování textových výstupů určených pro tvorbu zkušebních protokolů.

VÝHYBKY A VÝHYBKOVÉ KONSTRUKCE PRO VYSOKÉ RYCHLOSTI

Výzkum v oblasti rozvoje kolejové infrastruktury železničních a městských drah se snaží o propojení výrobců, stavebních společností a výzkumných organizací. Výsledky vedou ke zvyšování rychlosti, provozního zatížení, bezpečnosti, jízdního komfortu a dostupnosti kolejové dopravy při splnění ekonomických a environmentálních požadavků (např. snížení emisí hluku a potlačení šíření vibrací), zejména v zastavěném území.

Řešitelský tým pracuje mimo jiné dlouhodobě na úkolu vývoje a zkoušení výhybek a výhybkových konstrukcí pro vysoké rychlosti. Zvyšování rychlostí přináší potřebu používání štíhlejších geometrií výhybek, které kromě větší rychlosti jízdy do odbočky umožňují také klidnější přechod při jízdě v přímém směru. Tomuto trendu je uzpůsobena výhybka J60 1:33,5/8000/4000/∞, která využívá klotoidního průběhu odbočné větve a je ovládána hydraulickým přestavným systémem jak ve výměnové, tak i srdcovkové části. Vyrobeny byly funkční vzorky výměnové a srdcovkové části výhybky a na interním zkušebním pracovišti DT Výhybkárna a strojírna, a.s., probíhá dlouhodobé ověřování jejich funkčnosti. Do výkresové dokumentace jsou postupně implementovány poznatky získané z výroby i z praktických zkoušek. Při vývoji nových výhybek je přitom nutné zohlednit také způsob manipulace, transportu a pokládky štíhlých výhybek v podmínkách ČR.

Byl sestaven a je zpřesňován výpočtový model chování výhybky pod zatížením, který bude optimalizovat tuhost kolejové jízdní dráhy po délce výhybky. Dostupným výstupem je zatím statické řešení, ze kterého je zřejmý obvyklý průběh tuhosti po délce výhybky jako u standardních výhybek. Byla také zahájena numerická simulace za účelem zajištění homogeneity jízdní dráhy z hlediska poklesů po délce výhybky. Byl vytvořen 3D geometrický model výhybky, který byl načten do softwaru ANSYS.

V oblasti výpočtového modelování byl dále posuzován kryt závěrových a přestavných systémů výhybky. Vzhledem k tomu, že horní plocha krytu zasahuje téměř do úrovně temen kolejnic, vyvstala obava, že při jízdě vlaku s rozvěšenou šroubovkou může dojít k poškození krytu a případně i zařízení přestavnicku. Na základě výpočtového modelování bylo následně navrženo několik variant opatření pro ochranu zařízení.

Probíhá validace za provozu výhybky s inovativními prvky, které najdou následně uplatnění i při konstrukci vysokorychlostních výhybek. Jde například o pevné srdcovky z bainitické oceli, zpružnění v systému upevnění, válečkovou stoličku pro srdcovky s pohyblivými hroty a další. Do provozního ověření byly také nově začleněny dlouhé podložky pod odličky srdcovky. Jsou zkoušeny jak pod nově dodanými srdcovkami,

SOFTWARE PRODUCT RIRI

The RIRI software was developed for the purpose of assessing geometrical quality of roadway courses using data provided by laser scanning. It allows for carrying out the analysis of longitudinal and transverse surface irregularities measured by a standard straight edge according to the CSN EN 13036-7 standard and the international index of irregularity. It is possible to view and in this way locate specific sections and parameters corresponding to them. It is in addition possible to use the data export for viewing things in other tools and development of protocols. The software was developed in Python programming language. The innovated version allows for changing the straight edge length during the course of measuring the irregularities, advanced viewing the results of the analysis of a quarter vehicle in one graph together with the longitudinal section and generating text outputs designed for the creation of testing protocols.

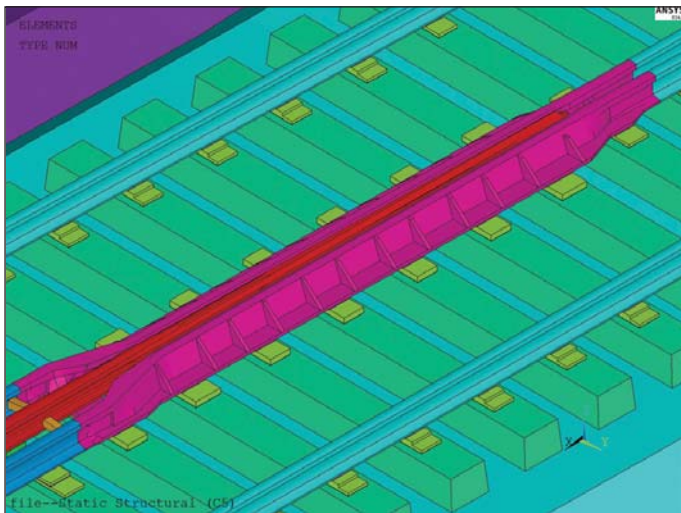
TURNOUTS AND SWITCHING STRUCTURES FOR HIGH SPEEDS

Research in the area of the development of the infrastructure of railways and urban rail tracks tries to connect manufacturers, civil engineering companies and research organisations. The results lead to increasing the speed, operating loads, safety, travel comfort and accessibility of rail transport with economic and environmental requirements (e.g. reducing noise emission and suppressing the propagation of vibration) fulfilled, first of all in developed areas.

The research team works in the long term among others on the problem of the development and testing of turnout and switching structures for high speeds. Increasing speeds bring about the need for the use of slenderer turnouts allowing, apart from higher speed of riding into the branch, also quieter passage at riding in the straight direction. Turnout J60 1:33.5/8000/4000/∞ is accommodated to this trend. It uses clothoidal course of the branch and is controlled by a hydraulic switching system both in the switching part as well as the frog part. Functional samples of the switching part and the frog part of the turnout were manufactured and long-term verification of their functionality is underway at DT Výhybkárna and Strojírna, a. s., (a turnout manufacture plant). The knowledge gathered from the manufacture and practical testing is gradually incorporated into drawings. When new turnouts are being developed, it is necessary to take into account even the way of handling, transportation and laying slender turnouts in the conditions of the Czech Republic.

A computational model of turnout behaviour under load was compiled and is being refined. It will optimise the toughness of the slab track throughout the turnout length. A static solution from which the usual course of toughness identical with the course of toughness of standard turnouts throughout their length is for the time being available. In addition, the work on a numerical simulation was started with the objective to secure the homogeneity of the slab track from the aspect of subsidence throughout the turnout length. A 3D geometrical model of a turnout was developed and was loaded into the ANSYS program.

In the area of computational modelling, the cover of points locking and switching systems of the turnout were further assessed. With respect to the fact that the upper surface of the



Obr. 3 Model srdcovky s pohyblivým hrotem pro výhybky pro vysokorychlostní trať

Fig. 3 The model of the movable point frog for turnouts for high-speed tracks

tak pod stávajícími konstrukcemi a výrobky. Byl zkušebně odlit rám srdcovky s pohyblivým hrotem srdcovky (obr. 3), který byl vyroben z bainitické oceli. Jeho kvalita a vnitřní homogenita byla ověřena zkouškami založenými na postupném odebrání materiálu na funkčních plochách a kontrolou povrchu penetrační zkouškou. Laboratorní zkoušení dílčích prvků vysokorychlostní výhybky se týkalo také například zkoušení bezpečnosti přestavného systému DTZ 6/3, zkoušky stěžejky, zkoušky agregátu DTZ v mrazicí komoře nebo odladění komunikačního driveru řídicí jednotky elektrického ohřevu výhybek (obr. 4). Byly provedeny zkoušky závěrových hydraulických systémů vložených ve výměňové a srdcovkové části výhybky na zkušebním vzorku. Všechny aktivity směřují k vytvoření prvního funkčního vzorku této výhybky, který má být provozně testován podle předpokladů v roce 2018 po vložení na trati ve vlastnictví Správy železniční dopravní cesty, s. o., jejíž zástupci celý vývoj pravidelně konzultují.

MĚSTSKÁ PROTIHLUKOVÁ STĚNA

Kolem kolejových drah obecně se používají k utlumení hluku tzv. nízké protihlukové stěny, které se umísťují co nejblíže ke zdroji hluku, tedy styku kola s kolejnicí. Jako výsledek centra CESTI vznikl návrh protihlukové stěny sestavené ze vzájemně propojených dílců specifického složení. Každý dílec je tvořen pevným výztužným rámem, který je vyplněn jádrem (plnivo), a vnější akusticky pohltivou vrstvou z pojeného gumového granulátu se soustavou otevřených a uzavřených pórů. Dílce mají nízkou hmotnost, takže umožňují montáž i bez mechanizace. Navíc jsou velmi snadno demontovatelné například v případě dopravních nehod. Řešení, které nabízí řadu variant, podléhá ochraně užitným vzorem. Ve spolupráci s Dopravním podnikem hlavního města Prahy, díky které vznikl zkušební úsek pro ověření účinnosti městské protihlukové stěny, mohou být výsledky prakticky ověřovány (obr. 5).

PREFABRIKOVANÝ NOSNÍK PRO SPŘAŽENÉ MOSTNÍ KONSTRUKCE

Značná část výzkumných aktivit se váže na řešení problémů souvisejících s výstavbou, údržbou a rekonstrukcemi mostů. Pro stávající konstrukce je cílem jednak tvorba vyspělých metodik pro diagnostiku, údržbu, opravy a rekonstrukce

cover nearly extends to the level of the top of rails, anxiety arose that the cover and possibly the point operating apparatus could be damaged in the case of a train riding with the disconnected screw coupling. Several variants of measures designed to protect the facility were subsequently proposed on the basis of the computational modelling.

The in-service validation of the turnout with innovative elements is in progress. These elements will find the use even in the construction of high-speed turnouts. Among them there are, for example, firm frogs made of bainitic steel, increasing elasticity in the fixation system, a roller heel stock for moveable point frogs etc. Long pads under cast frogs were also newly incorporated into the in-service verification. They are tested both under newly supplied frogs and under existing structures and products. A frame of the moveable point frog (see Fig. 3) was cast as a test. It was made of bainitic steel. Its quality and internal homogeneity were verified by tests based on gradual removing the material on functional surfaces and by checking the surface by a penetration test. The laboratory testing of partial elements of the high-speed frog comprised even the testing of the safety of the DTZ 6/3 switching system, testing of the hinge, testing of the DTZ aggregate in a freezing chamber or debugging of the communication driver of the control unit of the electrical heating of turnouts (see Fig. 4). Tests of hydraulic switch closure systems inserted into the switch and frog part of the turnover were carried out on the testing sample. All activities are directed to the creation of the first functional sample of this turnout, which is to be tested in service according to assumptions in 2018, after it is



Obr. 4 Inteligentní ohřev výměňové části výhybky pro vysokorychlostní trať
Fig. 4 Intelligent heating of the switching part of a turnout for high-speed tracks



Obr. 5 Zkušební úsek s městskou protihlukovou clonou na tramvajové trati Braník – Modřany v Praze

Fig. 5 Testing section with the urban noise barrier on the Braník – Modřany tram track in Prague

mostů, jednak vývoj nových materiálů vhodných pro opravy a rekonstrukce. V případě nových mostů výzkumné aktivity směřují k používání pokročilých konstrukčních systémů (např. hybridních mostů), detailů, materiálů (vysokohodnotný beton a FRP materiály; FRP = fiber reinforced polymers – vlákny vyztužené polymery) a metod výstavby.

Technické řešení chráněné užitným vzorem se týká prefabrikovaných předpjatých nosníků pro spřažené betonové mostní konstrukce silniční nebo dálniční. Prefabrikát má charakter tenkostěnné skořepinové konstrukce ve tvaru písmene U s přírubou (tzv. omega nosník) nebo bez příruby a má funkci samonosného ztraceného bednění. Skořepina je vyrobena z vysokohodnotného betonu. Nový typ prefabrikátu umožňuje snížit hmotnost až na třetinu hmotnosti stávajících prefabrikátů, což radikálně snižuje nároky na přepravní a manipulační prostředky a umožňuje využití technologie i na stavbách s obtížnou dostupností pro těžkou mechanizaci. Použití vysokohodnotného betonu na povrchovou vrstvu konstrukce zajišťuje její vysokou životnost.

Nosník je možné využít zejména u kolejových drah, konstrukcí lávek pro pěší, zastropení hloubených tunelů, parkovacích ploch i pro extrémně zatížené stropy pozemních staveb.

Podávalo se vyrobit první prvky pro konkrétní stavbu mostu v lomu Třebnuška (obr. 6, 7). V letošním roce se předpokládá dokončení stavby a následné dlouhodobé sledování nosníků a mostu jako celku. V roce 2017 by dále měl pokračovat vývoj tohoto systému s rozšířením o vývoj bednicích prvků pracovní spáry. Následně lze očekávat komerční uplatnění.

inserted into a track owned by the Railway Infrastructure Administration, state organisation, the representatives of which regularly consult about the development.

URBAN NOISE BARRIER WALL

The so-called “low noise barriers are generally installed along rail tracks. They are placed as close to the noise source (the contact of the wheel with rail) as possible. A design of a noise barrier wall assembled from interconnected segments with specific composition originated as a result of the CESTI centre. Each segment is formed by a firm reinforcing frame which is filled with a core (a filler) and an external acoustically absorbing layer of the bound rubber granulate with a system of open and closed pores. The weight of the segments is low, therefore the assembly is possible even without mechanical equipment. In addition, the segments are very easy to disassemble, for example in the case of traffic accidents. The solution, which offers a range of variants, is subject to protection by a utility model. The results can be practically verified in collaboration with the Prague Public Transit Company Inc., owing to which a testing section originated for verifying the effectiveness of an urban noise barrier wall (see Fig. 5).

PRECAST BEAM FOR COMPOSITE BRIDGE STRUCTURES

A significant part of research activities is bound to solving problems associated with the construction, maintenance and reconstruction of bridges. Regarding existing structures, the objective is to develop advanced methodologies for diagnostics, maintenance, repairs and reconstruction of bridges and develop new materials suitable for repairs and reconstruction. In the case of new bridges, the research activities are directed to the application of advanced structural systems (e.g. hybrid bridges), details, materials (high performance concrete and FRP materials; FRP = fibre reinforced polymers) and construction methods.

The technical solution protected by a utility model concerns precast pre-tensioned beams for combined concrete road or motorway bridge structures. The precast beam has the character of a thin-walled monocoque structure either with the shape of letter U with a flange (the so-called “omega beam”) or U without a flange. It fulfils the function of self-supporting permanent formwork. The monocoque structure is made of high-performance concrete. The new type of the precast structure allows for reducing the weight up to one third of the weight of existing precast products, which fact radically lowers the demands for the means of transportation and handling and allows for using this technology even at construction sites accessible for heavy equipment with difficulties. The application of high-performance concrete to the surface layer of the structure provides its high durability.

The beam can be used first of all for rail tracks, pedestrian bridge structures, covering decks of cut-and-cover tunnels, parking areas, even for extremely loaded roof decks of underground structures.

First elements for a particular construction of a bridge in Třebnuška quarry have already been produced (see Figures 6 and 7). The completion of the construction is expected this year; the long-term observation of the beams and the bridge as the whole will start subsequently. In 2017, the development of



Obr. 6 Pohled na předpjatý nosník
Fig. 6 A view of a pre-tensioned beam

VÝPLŇOVÝ PANEL ZÁBRADLÍ Z ULTRAVYSOKOHODNOTNÉHO BETONU (UHPC)

Cílem skupiny řešitelů v oblasti mostních konstrukcí bylo provést materiálovou a tvarovou optimalizaci zábradelních výplňových prvků tak, aby byly ekonomicky srovnatelné s ocelovým zábradlím. Při hledání optimální receptury se zároveň měnilo i tvarování prvku zábradlí. V poslední fázi byl panel vylehčen polygonálními otvory. Takovýto tvar byl podroben laboratorním zkouškám, které ověřovaly mechanické vlastnosti (obr. 8, 9) a také nasákavost a odolnost UHPC vůči CHRL (chemickým rozmrazovacím látkám).

Optimalizací složení UHPC dochází k důkladnému zatékání čerstvého materiálu do všech částí forem, přestože je do tenkostěnných



Obr. 8 Panel zábradlí při statické zkoušce 500 kg
Fig. 8 Railing panel during static test 500kg



Obr. 7 Detail konce předpjatého nosníku s profilací
Fig. 7 Detail of the end of the profiled pre-tensioned beam

this system, with the development of formwork elements for construction joints added to it, should continue. Commercial application can be expected subsequently.

INFILL PANEL OF RAILING MADE OF ULTRA HIGH-PERFORMANCE CONCRETE (UHPC)

The objective of the team of research team in the area of bridge structures was to carry out the material and shape optimisation of railing infill elements so that they are economically comparable to steel railing. During the course of searching for the optimum concrete mixture composition, shaping of the railing was changed. In the last phase the panel was lightened by polygonal openings. Such the shape was subjected to laboratory testing verifying mechanical properties (Figures 8 and 9), water absorption and resistance of the UHPC to deicing chemicals.

Owing to the optimisation of the UHPC composition the fresh material perfectly flows and fills all parts of moulds, despite the fact that a wire mesh of classical concrete reinforcement rods or composite glass rods is embedded in the thin-walled segments. It is at the same time possible to satisfy demanding requirements of architects for the profiling and colour shade of the visible surface of the panel. Great benefit also lies in increasing the utility properties and durability of the UHPC, especially in conditions of highly aggressive environment.



Obr. 9 Panel zábradlí při dynamické zkoušce
Fig. 9 Railing panel during dynamic test



Obr. 10 Osazené tenzometry – tunel Sudoměřice
Fig. 10 Tensometers installed in the Sudoměřice tunnel

dílčů zabudována síť z klasické betonářské oceli nebo kompozitních skleněných tyčí. Zároveň lze vyhovět náročným požadavkům architektů na profilování i odstín pohledové plochy panelu. Velkým přínosem je také zvýšení užitných vlastností a trvanlivosti UHPC, zvláště v podmínkách vysoce agresivního prostředí.

VÝVOJ SPŘAŽENÉHO PRIMÁRNÍHO A SEKUNDÁRNÍHO OSTĚNÍ

Jedno z odborných zaměření centra CESTI se zabývá spolehlivým návrhem tunelů nejen z hlediska jejich funkce, ale i bezpečnosti a nákladů. S tím souvisí i rozvoj nových technologií výstavby ostění a přístupů k návrhu vozovek a pevných jízdních drah v tunelech. Hlavními cíli jsou optimalizace tunelovacích metod, minimalizace rizik při výstavbě tunelů a návrh ostění s definovanou životností za přiměřených nákladů. Pro tunelová ostění a pevné jízdní dráhy je snahou vyvinout nové materiály s cílenými vlastnostmi. Zvláštní pozornost je věnována požární bezpečnosti.

Jedna z aktivit je zaměřena na řešení některých problémů spřaženého primárního a sekundárního ostění. Cílem prací je průkaz dlouhodobé životnosti primárního ostění po dobu předpokládané životnosti tunelu (100 let) a stanovení podmínek, při splnění kterých lze primární ostění v celkové únosnosti systému zohlednit a tak dosáhnout ekonomických úspor a ekologicky šetrného návrhu tunelových ostění.

V průběhu řešení byly stanoveny algoritmy pro výpočet korozních úbytků materiálu primárního ostění. Byly vytvořeny matematické modely MKP (metoda konečných prvků) pro možné varianty kontaktu primárního a sekundárního ostění. Pro ŘSD ČR bylo vypracováno stanovisko k možnostem dimenzování tunelových ostění ve smyslu možného spolupůsobení obou ostění a dosažení úspor při projektování a výstavbě nově plánovaných tunelů na dálnici D3 a rychlostní komunikaci D35. Zahájeno bylo dlouhodobé sledování napjatosti primárního ostění dvoukolejného železničního tunelu Sudoměřice u Tábora (obr. 10, 11).

METODIKA PRO NAVRŽENÍ A PROVOZ SYSTÉMŮ KONTROLNÍHO VÁŽENÍ VOZIDEL ZA POHYBU (WIM)

V projektu jsou také zahrnuty výzkumné činnosti postihující významné aspekty, které mají vliv na bezpečnost všech typů objektů dopravní infrastruktury i aspekty směřující k podpoře snižování vlivů dopravy a dopravních staveb na životní prostředí a zdraví obyvatel.



Obr. 11 Vzorek stříkaného betonu – tunel Sudoměřice
Fig. 11 Specimen of sprayed concrete – the Sudoměřice tunnel

DEVELOPMENT OF COMBINED PRIMARY AND SECONDARY LININGS

One of the professional focuses of the CESTI centre deals with a reliable design of tunnels not only from the aspect of their function but also the aspects of safety and costs. It is even associated with the development of new lining construction technologies and approaches to the design of roadways and slab tracks in tunnels. The main objectives are to optimise tunnelling methods, minimise risks during the construction of tunnels and to design a lining with a defined length of life at reasonable costs. There is an effort to develop new materials with pointed properties for tunnel linings and slab tracks. Special attention is dedicated to the fire safety.

One of the activities is focused on solving some problems of a combined primary and secondary lining. The works objective is to prove the long-term longevity of the primary lining throughout the assumed length of the tunnel life (100 years) and determine the conditions fulfilling which means that the primary lining can be taken into account in the total carrying capacity of the system, thus to achieve economic savings and environmentally friendly design of tunnel linings.

Algorithms for the computation of corrosion losses of primary lining materials were set during the work on the solution. The FEM (the Finite Element Method) mathematical models were created for possible variants of contacts between the primary and secondary linings. An opinion was prepared for the Road and Motorway Directorate of the Czech Republic regarding the possibilities of dimensioning tunnel linings in the meaning of the possible composite action of both liners and achieving savings in designing and constructing newly planned tunnels on the D3 motorway and the D35 express highway. The monitoring of the state of stress in the primary lining of the Sudoměřice u Tábora rail tunnel (see Figures 10 and 11) started.

METHODOLOGY FOR DESIGNING AND OPERATING SYSTEMS OF CHECKWEIGHING OF VEHICLES IN MOTION (WIM)

The project also comprises research activities affecting important aspects influencing the safety in all types of structures of the transportation infrastructure and aspects aimed at supporting the process of reducing the effects of transportation and transport structures on the environment and the health of the population.

Skupina řešitelů se věnuje dlouhodobě problematice vážné vozidel za pohybu (WIM: Weigh-in Motion). Jejich aktivity směřují k certifikaci ucelené metodiky pro navržení a provoz systémů vážení vozidel za pohybu pro silnice, mosty a tunely.

Systém WIM slouží jako zařízení pro omezení přetěžování vozidel těžké přepravy pod sankcí přímého postihu. Lze jej využít ke zpřesnění systému hospodaření s vozovkou, a to zejména k analýze zatížení silničních komunikací v čase, plánování servisu a údržby silničních komunikací i k optimalizaci nákladů na opravy a vynaložených investic. Při správně zvolené konfiguraci stanice WIM je možné zajišťovat přímý postih přetěžovaných vozidel bez nutnosti následného vážení na přenosných nebo přesných vahách.

Zavedení systému WIM přispěje bezesporu ke zvýšení bezpečnosti provozu na silničních komunikacích a k monitorování zatížení a provozu s cílem získat spolehlivé údaje o zatížení a další dopravně-inženýrská data pro zpracování směrem k optimalizaci dopravních proudů v intravilánu i extravilánu.

Teoretické předpoklady byly ověřovány in situ. Vážicí systém byl instalován na komunikaci I/52 Modřická, tedy na čtyřpruhové komunikaci na trase Brno – Mikulov.

Zkoumán byl také vliv přepravovaného materiálu na přesnost měření WIM. Byly zvoleny materiály, u kterých lze předpokládat jejich pohyb v průběhu přepravy, zejména v důsledku náhlé změny rychlosti vozidla. Přemístěním nákladu dochází ke zvýšení zatížení jedné z náprav výrazným způsobem. Současně byly vytipovány přepravní prostředky, které z hlediska technologických požadavků na přepravu neumožňují řádné uchycení nákladu. Jednotlivá vozidla po naložení byla zvážena na mostových vahách a na vahách s neautomatickou činností, na kterých byla stanovena hmotnost na jednotlivé nápravy. Následná dvě vážení byla provedena po absolvování jízdy v běžném silničním provozu včetně požadavku náhlého zpomalení.

Z vyhodnocení výsledků měření devíti různých materiálů vyplývá, že k největšímu posunu naloženého materiálu došlo u popílku (nárůst zatížení jedné z náprav až o 72 %), řepky a vápna (obr. 12). Výsledky byly uplatněny v rámci novely zákona č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích. Řešitelé se také podíleli na vypracování nové mezinárodní normy NMI: Specifications and test procedures for Weigh-in Motion Systems. V současné době jsou využívány při tvorbě



Obr. 12 Záznam z kamery instalované na návěs při odkryté plachtě – vizuální doklad o pohybu nákladu (řepky) při brzdění z 50 km/h na 0 km/h

Fig. 12 Record of a camera installed on a semi-trailer with the tarpaulin uncovered – visual document on the movement of a load (oilseed rape) during braking from 50 km/h to 0 km/h

The group of researchers dedicates itself in the long term to the problems of weighing vehicles in motion (WIM: Weigh-in Motion). Their activities head towards the certification of a comprehensive methodology for designing and operating the systems of weighing vehicles in motion for roads, bridges and tunnels.

The WIM system is used as a mechanism for restricting overloading of heavy transport vehicles under the sanction of direct punishment. It can be used for refining the road management system, mainly for analysing loads acting on roadway over time, planning of services and maintenance of roads and optimising the costs of repairs and the investments made. When the WIM station configuration is chosen properly, it is possible to ensure direct punishing of overloaded vehicles without a necessity for subsequent weighing on portable or precision scales.

The introduction of the WIM system will undoubtedly contribute to increasing operational safety on roads and monitoring of loads and operation with the aim of obtaining reliable data on loading and other transportation engineering data for processing in the direction of optimisation of traffic flows in urban areas and rural areas.

Theoretical assumptions were verified in situ. The weighing system was installed on the I/52 Mořická road, which is a four-lane road on the Brno – Mikulov route.

Even the effect on the material being transported on the WIM accuracy was examined. Materials for which it is possible to move during the transportation, first of all due to an abrupt change in the speed, were chosen. Owing to the relocation of the load, the loading on one of axes grows significantly. At the same time the means of transport disallowing proper fixing of loads from the aspect of technological requirements were tipped. Individual vehicles were weighed after loading on bridge scales and non-automatic operation scales, on which the weight loading individual axes were determined. Subsequent two weighing cases were carried out after completing the journey in common road traffic, including the requirement for abrupt deceleration.

It follows from the assessment of the results of measurements of nine different materials that the greatest shifting of the loaded material took place at fly ash (an increase in the load on one of the axes up to 72%), oilseed rape and lime (see Fig. 12). The results were applied within the framework of the amendment to the Act No. 13/1997 Coll. on roads. The researchers in addition participated in the preparation of the new NMI international standard: Specifications and test procedures for the Weigh-in Motion Systems. At the moment they are used for the creation of a metrological regulation for verifying specified measuring instruments – scales for high-speed weighing of vehicles in motion. This regulation follows up and further elaborates the general nature measure No. 0111-OOP-C010-10.

RISKS OF TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE PROJECTS

A three-part publication introduces a systematic approach to assessing the risks of transportation projects as the likely damage. It emphasises not only sources of danger and their impacts on the construction process, but dedicates itself even to the probability aspect of the problem. It relies on basic



Obr. 13 Zřícení svahu u tunelu Hřebeč

Fig. 13 Collapse of the Hřebeč tunnel slope

metrologického předpisu pro ověřování stanovených měřidel – vah pro vysokorychlostní vážení silničních vozidel za pohybu. Tento předpis navazuje a dále rozpracovává opatření obecné povahy č. 0111-OOP-C010-10.

RIZIKA STAVEB DOPRAVNÍ INFRASTRUKTURY

Třídílná publikace předkládá systematický přístup k hodnocení rizika dopravních staveb jako pravděpodobné škody. Klade důraz nejen na zdroje nebezpečí a jejich dopady na proces výstavby, ale věnuje se i pravděpodobnostní stránce problému. Opírá se o základní principy teorie pravděpodobnosti, které jsou v současnosti blízké inženýrům zabývajících se spolehlivostí konstrukcí. V žádném případě nejsou simulační nástroje zamýšleny jako náhrada za expertní metody typu UMRA (universal matrix of risk analysis – univerzální matice rizikové analýzy) či FMEA (failure modes and effects analysis – analýza možných vad a jejich důsledků). Ty se v praxi osvědčily, jsou srozumitelné a umožňují využít zkušenosti inženýrů jak při navrhování, tak realizaci dopravních staveb. Smyslem je expertní metody doplnit a vytvořit nástroje i ke zpřesnění odhadů přijímaných v expertních metodách. Přínosem navrženého přístupu je i příspěvek k procesu rozhodování o variantních řešeních. Využívá se funkce užítu, v níž důležitou roli hraje pravděpodobná finanční ztráta, tedy riziko, které je implicitně pojímáno jako záporný užitek. Navržené modely lze uplatnit i při hodnocení škody způsobené při provozu. Typickým příkladem je požár v tunelu. I když při něm dominují ztráty na lidských životech, nelze přehlédnout při teplotách nad 1000 °C ani škody na konstrukci tunelu (např. ostění), což má přímý dopad na sanační práce a nepřímo ovlivní i návrh konstrukce tunelu.

Přehled nebezpečí typických pro dopravní stavby je podle profesních oborů (silniční stavby, železniční stavby, mosty a tunely) utříděn v katalogu nebezpečí (rizik) zařazeného do II. části publikace. Vlastnímu katalogu je předřazena I. část, která nabízí příklady selhání sledovaných staveb. V ní jsou pro některé významné infrastrukturní oblasti uvedeny statistické přehledy (grafy), získané z dostupných veřejných databází. Tak je tomu i u tunelových staveb.

Probíhal také vývoj modelů a kalibrace stochastického modelu pro predikci tvaru a rozsahu poklesové kotliny vznikající nad raženým tunelem a souvisejících deformací a pravděpodobných

principles of the theory of probability, which are currently close to engineers dealing with the reliability of structures. The simulation tools are in no way intended as a substitute for expert methods, such as the UMRA (universal matrix of risk analysis) or the FMEA (failure modes and effects analysis). They acquitted themselves in the practice, are understandable and allow for using the experience of engineers both in designing and realising transport projects. The purpose is to complement expert methods and create tools even to refine the assessments adopted in the expert methods. The contribution of the proposed approach is also provided by the addition to the process of making decisions on variant solutions. A function of utility is used, where an important role is played by the probable financial loss, it means a risk, which is in general implicitly understood as a negative effect. The designed models can be applied even to assessing damage caused during the operation. A typical example is a fire in a tunnel. Despite the fact that losses of human lives dominate in it, even the damage on the tunnel (e.g. the lining) suffered when the temperatures exceed 1000°C cannot be overlooked. It has direct impact on rehabilitation operations and will indirectly influence the tunnel structure design.

The overview of dangers typical for transport-related projects is assorted according to professional branches (road structures, railway structures, bridges and tunnels) in the catalogue of hazards (risks) incorporated into the Part II of the publication. Part I offering examples of failures of the observed structures is pre-assigned to the catalogue itself. In this part statistical overviews (graphs) are presented for some significant infrastructural areas obtained from available database sources. This applies even to tunnel construction projects.

The development of models and calibration of a stochastic model for the prediction of the shape and extent of the settlement trough developing above a mined tunnel and the associated deformations and probable failures of the underground structures in question was also in progress. Part III of the publication is dedicated to this issue. The key element of the stochastic model comprises two interconnected deterministic models for the calculation of deformations of the sub-grade and the calculation of deformations of the building complemented by a probabilistic description of the uncertainty regarding the input (first of all material) parameters and the uncertainty associated with inaccurate measurements. The probabilistic distribution of the input parameters of this hierarchical stochastic model is refined by means of the Bayesian interference method on the basis of data from the monitoring of the tunnel excavation (see Fig. 13).

OPTIMISATION OF COMPOSITION OF ALUMOSILICATE MATERIALS FOR DURABLE TRANSPORTATION STRUCTURES

The optimisation was based on thermo-mechanical simulations of hydrating concrete structures. A four-parameter hydration model was used and calibrated on i) isothermal calorimeter data or ii) semi-adiabatic tests for various types of cement for more precise modelling. The thermo-mechanical model was implemented into the OOFEM open software package and was verified on several benchmark examples from literature. This activity resulted in a verified technology. The technology originated in collaboration with the company of Lafarge Holcim, which provided experimental data and was capable of changing the composition of concrete mixtures according to the results of simulations. The verification was carried out on foundation blocks in

poruch dotčených pozemních staveb. Této otázce se věnuje III. část publikace. Klíčovým prvkem stochastického modelu jsou dva provázané deterministické modely pro výpočet deformací podloží a pro výpočet deformací budovy doplněné o pravděpodobnostní popis nejistoty týkající se vstupních (především materiálových) parametrů a nejistoty spojené s nepřesným měřením. Pravděpodobnostní rozdělení vstupních parametrů tohoto hierarchického stochastického modelu je zpřesňováno metodou bayesovské inference na základě dat z geotechnického monitoringu ražby (obr. 13).

OPTIMALIZACE SLOŽENÍ ALUMOSILIKÁTOVÝCH MATERIÁLŮ PRO TRVANLIVÉ DOPRAVNÍ STAVBY

Optimalizace byla založena na termo-mechanických simulacích hydratujících betonových konstrukcí. Pro přesnější modelování byl použit a zkalibrován čtyřparametrický hydratační model na i) izotermálních kalorimetrických datech či ii) semi-adiabatických testech pro různé typy cementů. Termo-mechanický model byl implementován do softwarového otevřeného balíku OOFEM a ověřen na několika benchmarkových příkladech z literatury. Výsledkem aktivity je ověřená technologie. Ta vznikla ve spolupráci s firmou LafargeHolcim, která poskytla experimentální data a byla schopná měnit složení betonových směsí podle výsledků simulací. Ověření proběhlo na základových blocích ve Švýcarsku a hlavicích pilot v budově Access II na Srí Lance. V obou případech simulace správně předpověděly průběh teplot betonu a také došlo k úpravě receptury betonu pro omezení maximálních teplot a jejich gradientů s cílem minimalizovat šířky trhlin (obr. 14).

ZÁVĚR

Výsledky pracovního balíčku „WP4: Tunely – pokročilé technologie a efektivní technická řešení“ představí následující dva články.

Projekt CESTI pokračuje až do konce roku 2019. Nejvíce hmatatelných výsledků je pochopitelně plánováno na jeho závěr. Řešitelský tým ale považuje za nesporný úspěch zejména to, že se podařilo vytvořit týmy řešitelů z různých pracovišť napříč tematickými okruhy, propojit výzkumné instituce navzájem a začlenit do výzkumu i firmy různých typů a velikostí a výsledky výzkumu ověřovat při praktických realizacích.

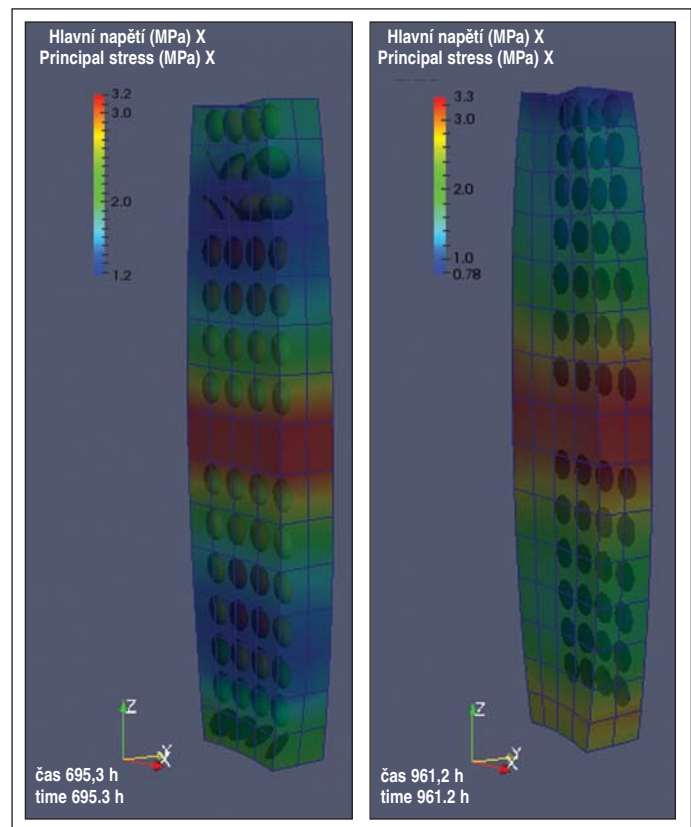
Podrobné informace o projektu lze najít na www.cesti.cz.

Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu programu Centra kompetence Technologické agentury České republiky (TAČR) s názvem Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (projekt č. TE01020168). Autoři děkují za poskytnutou podporu.

Ing. PETR BÍLÝ, Ph.D., petr.bily@fsv.cvut.cz,
Ing. MARCELA PAVLÍKOVÁ, CSc.,
marcela.pavlikova@fsv.cvut.cz,
Stavební fakulta, ČVUT v Praze

Recenzovali **Reviewed:** doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.,
doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc.



Obr. 14 Vývoj trhlin těsně před porušením bloku

Fig. 14 Development of cracks immediately before the block failure

Switzerland and pile heads in Access II building in Sri Lanka. In both cases of the simulation they correctly predicted the development of concrete temperature and the concrete mixture composition was modified in both cases with the intention to restrict maximum temperatures and their gradients with the aim of minimising the width of cracks (see Fig. 14).

CONCLUSION

The results of the working package „WP4 “Tunnels – advanced technologies and effective technical solutions” are introduced in the following two papers.

The CESTI project will continue until the end of 2019. Most tangible results are naturally planned for its completion. Nevertheless, the research team considers as an indisputable success first of all the fact that they managed to create teams of researchers from various workplaces across the thematic circles, to interconnect research institutions with each other, incorporate even firms of various types and magnitudes into the research and verify the results in practical realisations.

Detailed information about the project can be found on www.cesti.cz.

Acknowledgements

The paper originated within the framework of the solution to the project of the Competence Centre of the Technology Agency of the Czech Republic (TAČR) named the Centre for Efficient and Sustainable Transportation Infrastructure (Project No. TE01020168). The authors thank for the support provided.

Ing. PETR BÍLÝ, Ph.D., petr.bily@fsv.cvut.cz,
Ing. MARCELA PAVLÍKOVÁ, CSc.,
marcela.pavlikova@fsv.cvut.cz,
Stavební fakulta, ČVUT v Praze

VÝPOČET KONDENZACE VODNÍ PÁRY V TUNELECH CALCULATION OF WATER VAPOUR IN TUNNELS

MICHAELA MRAČKOVÁ, BOŘEK PATZÁK, VÍT ŠMILAUER, JAN PRUŠKA

ABSTRAKT

Výpočetní model pro stanovení množství zkondenzované vodní páry v tunelech vznikl při řešení projektu CESTI – pracovního balíčku WP4 Tunely – pokročilé technologie a efektivní technická řešení na základě požadavků inženýrů z praxe, kteří se s tímto problémem potýkají při stavbě nových tunelů zejména ve vlhkých a teplých letních měsících. Investor často limituje maximální množství průsaku v tunelu, které se stanovuje měřením čerpané vody a je třeba odlišit vodu zkondenzovanou od vody průsakové. Navržený výpočetní postup umožňuje určit právě množství zkondenzované vodní páry a skládá se ze tří částí: 1. 2D nestacionární model vedení tepla umožňující v každém řezu tunelu stanovit pole teplot v horninovém masivu a na ostění pro libovolné počáteční a okrajové podmínky. Pokud se teplota na ostění tunelu dostane pod teplotu rosného bodu, nastane kondenzace. 2. Bilanční model, umožňující stanovit množství kondenzátu na základě zadaných teplot a relativních vlhkostí vzduchu na začátku a konci sledovaného úseku a zadané maximální rychlosti proudění vzduchu. 3. Zjednodušený model transportu tepla a vlhkosti v podélném směru. V článku jsou popsány metody výpočtu použité ve všech částech a použití modelu je demonstrováno na tunelovém komplexu Blanka.

ABSTRACT

The calculation model for the determination of the amount of water vapour in tunnels originated during the course of solving the CESTI project – working package WP4 Tunnels – advanced technologies and effective technical solutions based on requirements of engineers from the practice struggling with this problem in the process of designing new tunnels, first of all during wet and warm summer months. The client often limits the maximum amount of seepage into the tunnel, which is determined by measuring the amount of pumped water and it is necessary to distinguish condensed water vapour from seepage water. The proposed calculation procedure allows for determining the amount of condensed water vapour. It consists of three parts: 1. A 2D non-stationary model of heat conduction allowing for determining the temperature field in a ground massif and on the lining for arbitrary initial and boundary conditions. If the temperature on the tunnel lining gets under the dew point, condensation takes place. 2. A balance model allowing the determination of the amount of condensed water on the basis of entered temperatures and relative humidity of air at the beginning and end of the monitored section and the maximum entered air flow velocity. 3. A simplified model of the transport of heat and humidity in the longitudinal direction. The paper presents the calculation methods used in all parts and the use of the model is demonstrated on the Blanka complex of tunnels.

ÚVOD A FORMULACE MODELŮ

Modelování kondenzace vodních par v tunelu je komplexní problém. Jedná se o třídímní úlohu, kombinující nestacionární vedení tepla [1] v zemním tělese a ostění, proudění vzduchu v tunelu a fázové změny vody na rozhraní vzduch – ostění [2]. Inženýrsky použitelný model s rozumnými výpočetními nároky umožňující kvantifikovat množství zkondenzované vodní páry je možné formulovat jen za přijetí řady zjednodušujících předpokladů. Cílem je výpočet množství kondenzátu na ostění tunelu.

BILANČNÍ MODEL PRO STANOVENÍ MNOŽSTVÍ KONDENZÁTU VE SLEDOVANÉM ÚSEKU

Na základě předpokladu, že je známá teplota vzduchu a jeho relativní vlhkost, se určí měrná hmotnost vodní páry (kgm^{-3}) jak na začátku, tak i konci úseku. Pokud je teplota na výstupu vyšetřovaného úseku nižší než teplota rosného bodu, bude docházet ke kondenzaci. Množství kondenzátu se určí z rozdílu měrné hmotnosti vodní páry, rychlosti proudění vzduchu a plochy průřezu tunelu podle obr. 1.

Pro výpočet množství kondenzátu se používají následující rovnice, podrobněji viz např. [3]. Pro tlak syté páry p_s [Pa] s teplotou T [°C] platí:

$$p_s = 610,78 \cdot e^{\frac{17,2694 \cdot T}{T+238,3}} \quad (1)$$

Tlak vodní páry p [Pa] při obecné relativní vlhkosti RH [%]:

INTRODUCTION AND FORMULATION OF MODELS

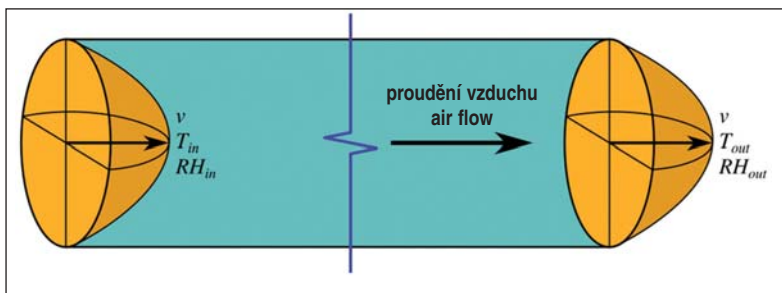
Modelling of the condensation of water vapours in a tunnel is a comprehensive problem. It is a three-dimensional problem combining non-stationary heat conduction [1] in a ground body and a lining, flowing of air inside a tunnel and phase changes at the interface between air and the lining [2]. The model useable in terms of engineering with reasonable calculation demands, allowing the quantification of the water from condensed water vapour, can be formulated only under the condition of accepting a range of simplifying assumptions. The objective is the calculation of the amount of the condensate on the tunnel lining surface.

BALANCE MODEL FOR DETERMINATION OF CONDENSATE AMOUNT IN MONITORED SECTION

The specific weight of water vapour (kgm^{-3}) is determined at the beginning and the end of the section on the basis of the assumption that the air temperature and its relative humidity are known. If the temperature at the exit from the section being examined is lower than the temperature of the dew point, condensation will take place. We will determine the condensate temperature from the difference between the specific weight of water vapour, the velocity of air flow and the tunnel cross-sectional area, according to Fig. 1.

The following equations are used for the calculation of the condensate amount (for more detail see e.g. [3]. The following applies to the pressure of saturated vapour p_s [Pa] with the temperature T [°C]:

$$p_s = 610,78 \cdot e^{\frac{17,2694 \cdot T}{T+238,3}} \quad (1)$$



Obr. 1 Laminární proudění vzduchu tunelem se specifikací vstupních a výstupních teplot a relativních vlhkostí

Fig. 1 Laminar air flow through a tunnel with the specification of entry and exit temperatures and relative humidity values

$$p = \frac{RH \cdot p_s}{100} \quad (2)$$

Měrná hmotnost vodní páry ve vzduchu m [kgm^{-3}]:

$$m = 0,002166 \cdot \frac{p}{(T + 273,16)} \quad (3)$$

a teplota rosného bodu T_{dew} [$^{\circ}\text{C}$]:

$$T_{dew} = \ln \frac{p}{610,78} \cdot \frac{238,3}{\left(17,294 - \ln \frac{p}{610,78}\right)} \quad (4)$$

měrná hmotnost zkondenzované vodní páry m_c [kgm^{-3}] se určí z rozdílu na vstupu a výstupu úseku:

$$m_c = m_{IN} - m_{OUT} \quad (5)$$

kde m_{IN} je měrná hmotnost vodní páry na vstupu do tunelu [kgm^{-3}], m_{OUT} měrná hmotnost vodní páry na výstupu z tunelu [kgm^{-3}]. Průtok vzduchu za hodinu V_a [$\text{m}^3\text{den}^{-1}$] se stanoví z objemu rotačního paraboloidu:

$$V_a = 3600 \cdot \frac{A}{2} \cdot v, \quad (6)$$

kde A je plocha průřezu [m^2] a v rychlost [ms^{-1}]. Objem zkondenzované vody za den V_{tot} [$\text{m}^3\text{den}^{-1}$]:

$$V_{tot} = \frac{m_c \cdot V_a}{\rho} \cdot 24, \quad (7)$$

kde ρ je hustota vody [kgm^{-3}].

MODEL VEDENÍ TEPLA V PŘÍČNÉM ŘEZU

Model umožňuje stanovit rozložení teploty v horninovém masivu a na ostění tunelu v čase v závislosti na počátečních a okrajových podmínkách (sezonní variace teploty vzduchu v tunelu a na zemském povrchu). Výpočet je založen na dvourozměrném konečně prvkovém modelu pro nestacionární vedení tepla v programu OOFEM 2.4 [4]. Pro ilustraci jsou uvedeny výsledky výpočtu tunelového komplexu Blanka pro dva charakteristické řezy (obr. 2). Řez v hloubeném úseku ve staničení 3,68 km JTT má výšku nadloží 5 m a řez v raženém úseku ve staničení 6,53 km JTT má výšku nadloží 20 m. Na obr. 3 je zobrazena síť konečných prvků a monitorovacích bodů pro nestacionární úlohu vedení tepla v hloubeném a raženém úseku. Oba řezy využívají symetrii pro zrychlení výpočtu.

Celkem byly provedeny tři typy analýz. První z nich zkoumá ovlivnění tunelového tělesa vnější teplotou při jeho úplném uzavření. Pro zeminu/horninu byla uvažována konstantní tepelná vodivost $1,3 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, měrná tepelná kapa-

The water vapour pressure p [Pa] with general relative humidity RH [%]:

$$p = \frac{RH \cdot p_s}{100} \quad (2)$$

The specific weight of water vapour in the air m [kgm^{-3}]:

$$m = 0,002166 \cdot \frac{p}{(T + 273,16)} \quad (3)$$

and the dew point temperature T_{dew} [$^{\circ}\text{C}$]:

$$T_{dew} = \ln \frac{p}{610,78} \cdot \frac{238,3}{\left(17,294 - \ln \frac{p}{610,78}\right)} \quad (4)$$

Specific weight of condensed water vapour m_c [kgm^{-3}] is determined from the difference between the entrance into and exit from the section:

$$m_c = m_{IN} - m_{OUT} \quad (5)$$

where m_{IN} is specific weight of water vapour at the tunnel entrance [kgm^{-3}], m_{OUT} is specific weight of water vapour at the tunnel exit [kgm^{-3}]. The airflow rate per hour V_a [$\text{m}^3\text{den}^{-1}$] is determined from the volume of a rotational paraboloid:

$$V_a = 3600 \cdot \frac{A}{2} \cdot v, \quad (6)$$

where A is the cross-sectional area [m^2] and v is velocity [ms^{-1}]. The volume of condensed water per day V_{tot} [$\text{m}^3\text{den}^{-1}$]:

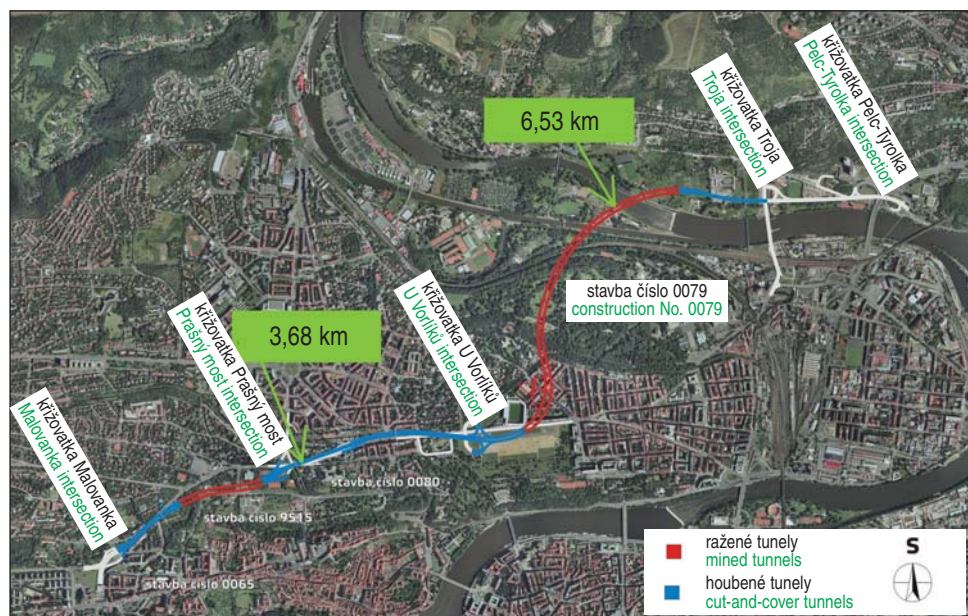
$$V_{tot} = \frac{m_c \cdot V_a}{\rho} \cdot 24, \quad (7)$$

where ρ is water density [kgm^{-3}].

MODEL OF HEAT CONDUCTION IN A CROSS-SECTION

The model allows for determining the distribution of temperature in a ground massif and on the tunnel lining surface in time, in dependence on initial and boundary conditions (seasonal variations of air temperature inside the tunnel and on the surface of earth). The calculation is based on a two-dimensional finite element model for non-stationary heat conduction in the OOFEM 2.4 program [4]. The results of the calculation of the Blanka complex of tunnels for two characteristic cross-sections are presented for illustration (see Fig. 2). The overburden in the cross-section in the cut-and-cover section at km 3.68 chainage of the STT is 5m high and the overburden in the cross-section at km 6.53 chainage of the STT is 20m high. Fig. 3 presents a network of finite elements and monitoring points for the non-stationary problem of heat conduction in both the cut-and-cover and mined sections. Both cross-sections use symmetry for the acceleration of the calculation.

Three types of analyses in total were carried out. The first of them examines influencing of the tunnel body by external temperature in the case of total tunnel closure. Constant thermal conductivity of $1,3 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, specific thermal capacity of $1200 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ and volume weight of $1600\text{--}2600 \text{ kgm}^{-3}$ were assumed for the soil, depending on geology. The surface-air heat transfer coefficient was $20 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ and the initial temperature of the ground body was 10°C . The history of average external temperatures and relative humidity in individual days are known from the data provided by the Czech meteorological institute for the average of the years 1961-1990. It was found by this analysis with a 1-week interval that the external temperature influences the ground up to the depth of ca 7m (see Fig. 4). It was proved that the influence of the roof deck of the cut-and-cover tunnel is only small and the



Obr. 2 Umístění dvou charakteristických příčných řezů v tunelovém komplexu Blanka (staničení jižní tunelové trouby) [5]

Fig. 2 Locations of two characteristic cross-sections in the Blanka complex of tunnels (chainage of the southern tunnel tube) [5]

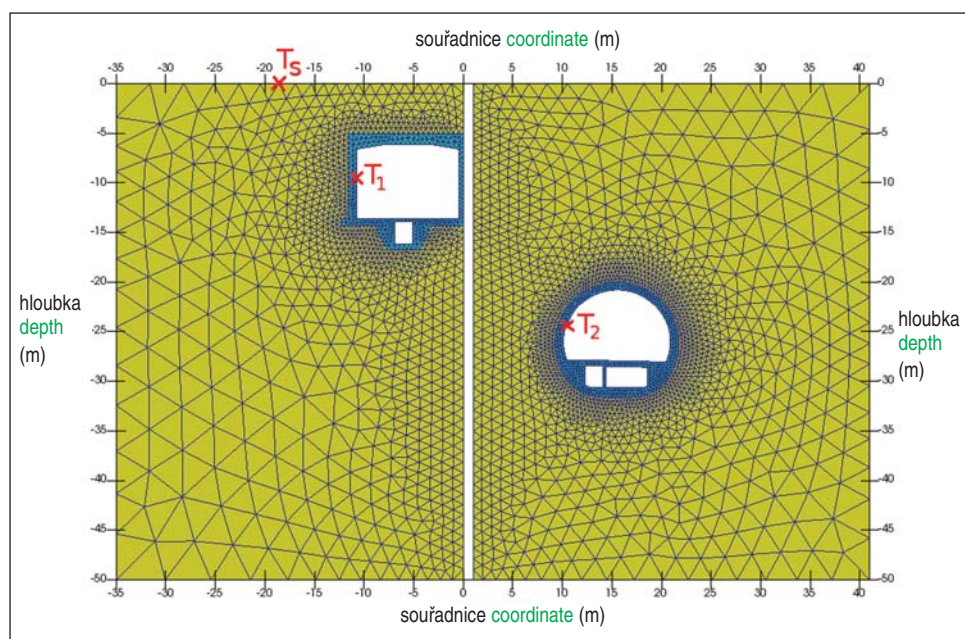
cita $1200 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ a objemová hmotnost $1600\text{--}2600 \text{ kgm}^{-3}$ podle geologie. Součinitel přestupu tepla povrch-vzduch byl $20 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ a počáteční teplota zemního tělesa byla 10°C . Z dat Českého hydrometeorologického ústavu jsou známy průběhy průměrných vnějších teplot a relativních vlhkostí v jednotlivých dnech pro průměr let 1961–1990. Při této analýze s časovým krokem jeden týden bylo zjištěno, že vnější teplota ovlivňuje zeminu/horninu do hloubky zhruba 7 m (obr. 4). Prokázán byl pouze malý vliv u stropu hloubeného tunelu, ražený úsek s výškou nadloží 20 m zůstává neovlivněn povrchovou teplotou.

Druhá analýza byla provedena pro otevřený tunel s časovým krokem jeden den pro období jednoho roku, tj. celkem 365 časových kroků s uvažováním proměnlivé teploty jak na povrchu, tak i uvnitř samotného tunelu. Byly uvažovány

T_s , is presented in Fig. 6. The T_1 and T_2 temperatures of the linings of the tunnels (see Fig. 3) virtually coincide and indicate the negligible influence of the tunnel depth under the surface.

The analysis in the cross-section allows for calculating the amount of the condensate when external air gets into the unventilated tunnel and the quick heating of the lining does not take place (this is the upper assessment threshold for the condensate amount). It is possible to use laminar flow for this condition and calculate the volume of air according to (6).

Temperatures again from 2014 were considered to be used for illustration. The exit temperature was conservatively guessed to be 11°C in June, July and August and 10°C in the other months. Relative humidity was considered to be identical with the entry temperature, the air flow velocity of 1 ms^{-1} was considered. The amount of condensate can be determined by using the equations (1)–(7); it is presented in Fig. 7. The condensation started on the 176th day, which corresponds to 25th June. The greatest condensation took place on 1st August, when the amount of condensate reached $14.85 \text{ m}^3/\text{day}$. Condensation continued in June, July, August and September, when the average monthly temperatures of air vary from 18.5°C to 15.8°C and relative humidity varies from 55% to 77%. This example illustrates the calculation using only the entry and exit temperatures, the values of relative humidity of air and the velocity of air flow measured on one tunnel cross-section.



Obr. 3 Sústava konečných prvků s vyznačením referenčních bodů na hloubeném a raženém řezu

Fig. 3 Network of finite elements with reference points marked in the cut-and-cover and mined tunnel cross-sections

MODEL TAKING INTO ACCOUNT LONGITUDINAL FLOWING OF AIR

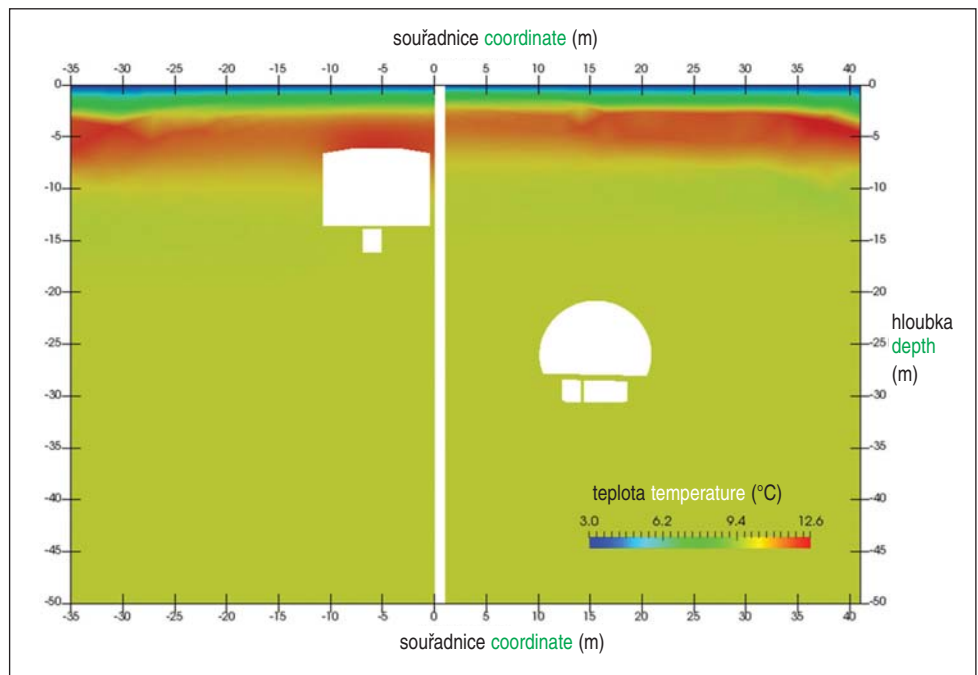
The model is based on the Finite Volume Method, where the tunnel is

průměrné měsíční teploty a relativní vlhkosti vzduchu z roku 2014 [6], kdy došlo k pokračování přerušené výstavby tunelu. Na obr. 5 je zobrazeno teplotní pole ve 210. dni, kdy teplota na ostění dosahuje hodnot 21 °C.

Třetí, podrobnější analýza byla provedena s uvažováním fluktuace teplot den a noc po dobu jednoho týdne. Výsledkem je graf na obr. 6, kdy teploty ostění tunelů se mění s mírným zpožděním oproti vnější teplotě T_s . Teploty na ostění tunelů T_1 a T_2 (obr. 3) prakticky splývají a ukazují zanedbatelný vliv hloubky tunelu pod povrchem.

Analýza v příčném řezu umožňuje vypočítat množství kondenzátu, pokud by se do nevětraného tunelu dostal venkovní vzduch a nedocházelo by k rychlému ohřívání ostění (jedná se o horní odhad množství kondenzátu). Pro tento stav lze použít laminární proudění a vypočítat objem vzduchu podle (6).

Pro ilustraci byly uvažovány opět teploty z roku 2014. Výstupní teplota byla konzervativně odhadnuta v měsících červen, červenec a srpen na 11 °C, v ostatních měsících na 10 °C. Relativní vlhkost se uvažovala stejná jako vstupní, rychlost proudění vzduchu 1 ms⁻¹. Použitím rovnic (1)–(7) lze určit množství kondenzátu, které je vykresleno na obr. 7. Kondenzace začala 176. den, který odpovídá 25. červnu. K největší kondenzaci by došlo 1. srpna, kdy bylo množství kondenzátu 14,85 m³/den. Kondenzace probíhala v měsících červen, červenec, srpen a září, kdy se průměrné měsíční teploty vzduchu pohybují od 18,5 °C do 15,8 °C a relativní vlhkost od 55 % do 77 %. Tento příklad ilustruje výpočet za použití pouze vstupních a výstupních teplot, relativních



Obr. 4 Teplotní pole při uzavřeném tunelovém komplexu Blanka v 53. týdnu (konec prosince)

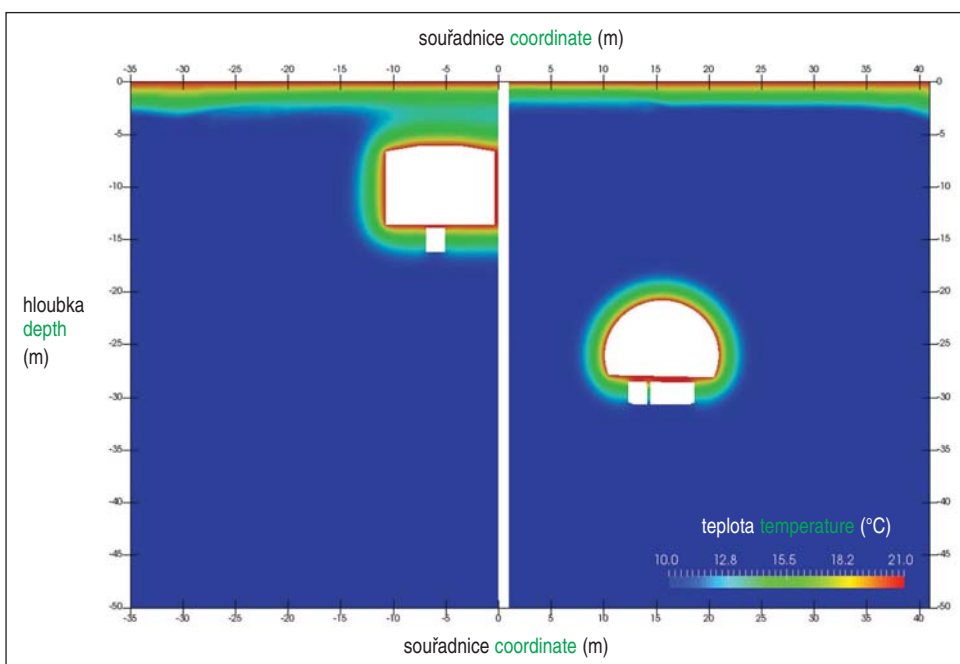
Fig. 4 Temperature field at the Blanka complex of tunnels closed, the 53rd week (the end of December)

divided in the longitudinal direction into the so-called “balance sections”. The average value of temperature and relative humidity is taken into account in the centre of gravity of each section. Air can be cooled down during the course of flowing at under the dew point temperature level with subsequent condensation [7]. In addition, the following assumptions are introduced:

- laminar flowing of air according to Fig. 1 is assumed;
- the characteristic cross-section is identical throughout the examined tunnel length;
- tunnel without vehicles is taken into account;
- average daily temperatures without day/night fluctuations are taken into account;
- only a certain part of the air volume condenses on the lining surface in the process of condensation.

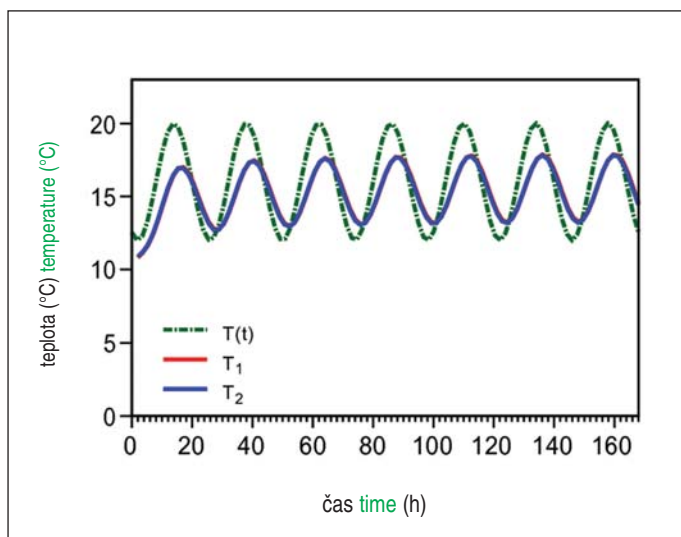
The simplifying assumptions are made provisions for by the guessed $k = 0.5$ and further in equations (15) and (16), which can be refined by a more detailed analysis.

The model takes into account the air temperature which is caused by heat transfer from the lining in the longitudinal direction. The temperature of the external air enters the calculation as a boundary condition for the heat conduction in the first section in the cross-section. The lining temperature in the characteristic cross-section is determined by means of heat conduction in the cross-section model (see chapter Model of heat conduction in a cross-section). The change in the air temperature in the balance section is determined on the basis of the entry air temperature and the lining temperature. The heat flow density $\bar{q}$ [Wm⁻²] at the interface between the air and the



Obr. 5 Teplotní pole při otevřeném tunelovém komplexu Blanka ve 210. dni roku (konec července)

Fig. 5 Temperature field at the Blanka complex of tunnels closed, the 210th day of the year (the end of July)



Obr. 6 Graf fluktuace teploty v referenčních bodech tunelového komplexu Blanka

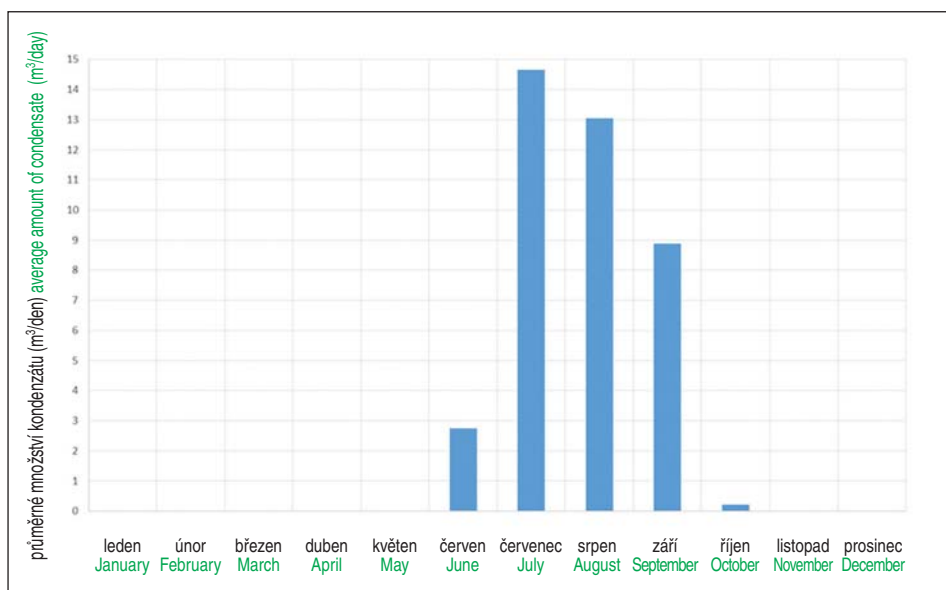
Fig. 6 Graph of temperature fluctuation at reference points of the Blanka complex of tunnels

vlhkostí vzduchu a rychlosti proudění na jednom průřezu (řezu) tunelu.

MODEL UVAŽUJÍCÍ PROUDĚNÍ VZDUCHU V PODÉLNÉM SMĚRU

Model vychází z metody konečných objemů, kdy je tunel v podélném směru rozdělen na tzv. bilanční úseky. V těžišti každého úseku je uvažována průměrná hodnota teploty a relativní vlhkosti. Vzduch se během proudění může ochladit pod teplotu rosného bodu s následnou kondenzací [7]. Dále jsou zavedeny následující předpoklady:

- předpokládá se laminární proudění vzduchu podle obr. 1;
- charakteristický řez (průřez) je po celé délce vyšetřovaného tunelu totožný;
- je uvažován tunel bez vozidel;
- uvažují se průměrné denní teploty bez fluktuací den/noc;
- při kondenzaci na ostění kondenzuje jen určitá část objemu vzduchu.



Obr. 7 Výsledky analýzy kondenzace ve staničení 3,68 km jižní tunelové trouby (hloubený úsek) s odhadnutými teplotami a relativními vlhkostmi na výstupu z tunelu

Fig. 7 Results of the condensation analysis at chainage km 3.68 of the southern tunnel tube (cut-and-cover section) with the temperatures and relative humidity values at the tunnel exit guessed

lining is, owing to convection (flowing in the boundary layer), equal to [8]:

$$\bar{q} = \alpha \cdot (T_{wall} - T_{air}), \quad (8)$$

where T_{wall} is the temperature of the lining surface [K], T_{air} is the temperature of air at the lining [K]. The total amount of transferred heat Q_{α} [J] will therefore be:

$$Q_{\alpha} = \bar{q} \cdot S \cdot \Delta t, \quad (9)$$

where S is the heat transfer surface area [m²] and Δt is the length of the interval of time [s], which is calculated from the length of the balance section and the air flow velocity. After merging these equations:

$$Q_{\alpha} = \alpha \cdot (T_{wall} - T_{air}) \cdot S \cdot \Delta t. \quad (10)$$

The change in the amount of heat accumulated in the air Q_C [J] (per unit of time):

$$Q_C = c \cdot m \cdot (T_{n+1} - T_n). \quad (11)$$

where c is the specific thermal capacity [Jkg⁻¹K⁻¹], m is the weight of air [kg], $T_{(n+1)}$ is the new temperature of air [K], T_n is the original temperature of air [K]. The updated temperature of air follows from the equality of (10) and (11):

$$Q_C = c \cdot m \cdot (T_{n+1} - T_n). \quad (12)$$

after insertion:

$$T_{n+1} = T_n + \frac{\alpha \cdot S \cdot (T_{wall} - T_{air}) \cdot \Delta t}{c \cdot \rho \cdot V}, \quad (13)$$

where V is the volume of air in the section [m³], ρ is the density of air [kgm⁻³]. Latent heat of condensation L_V [J] is given by the relationship [2]:

$$L_V = l_V \cdot m, \quad (14)$$

where l_V is the specific latent heat [Jkg⁻¹] and m is the weight of condensed water [kg].

The exit temperature of air at the end of the section with cooling or heating by the lining was determined by the previous calculation, see relationships (8)–(13).

The temperature of air and specific weight of the water vapour from the preceding section, or for the first section, the entry values are the entry parameters for each balance section. The exit values are determined by the changed temperature (13). The calculation of the dew point is carried out in a way similar to that used in chapter Model of heat conduction in cross-section.

If the temperature in the section drops under the temperature of dew point, the condensing specific weight of water vapour m_i [kgm⁻³] determined by the relationship:

Zjednodušující předpoklady jsou zohledněny odhadnutým součinitelem $k = 0,5$ dále v rovnicích (15) a (16), jenž je možné zpřesnit detailnější analýzou.

Model uvažuje změnu teploty vzduchu, která je způsobena přestupem tepla z ostění v podélném směru. Teplota vnějšího vzduchu vstupuje jako okrajová podmínka výpočtu vedení tepla v prvním úseku v řezu. V charakteristickém příčném řezu je stanovena teplota ostění, pomocí modelu vedení tepla v příčném řezu (kap. Model vedení tepla v příčném řezu). Na základě vstupní teploty vzduchu a teploty ostění se stanoví změna teploty vzduchu v bilančním úseku. Hustota tepelného toku $\bar{q}$ [Wm⁻²] na rozhraní vzduchu a ostění je díky konvekcii (proudění v mezní vrstvě) [8]:

$$\bar{q} = \alpha \cdot (T_{wall} - T_{air}), \quad (8)$$

kde T_{wall} je teplota povrchu ostění [K], T_{air} teplota vzduchu u ostění [K]. Celkové množství předaného tepla Q_α [J] tedy bude:

$$Q_\alpha = \bar{q} \cdot S \cdot \Delta t, \quad (9)$$

kde S je teplosměnná plocha [m²] a Δt délka časového intervalu [s], která je spočítána z délky bilančního úseku a rychlosti proudění vzduchu. Po sloučení těchto rovnic:

$$Q_\alpha = \alpha \cdot (T_{wall} - T_{air}) \cdot S \cdot \Delta t. \quad (10)$$

Změna množství tepla akumulovaného ve vzduchu Q_c [J] (za jednotku času):

$$Q_c = c \cdot m \cdot (T_{n+1} - T_n). \quad (11)$$

kde c je měrná tepelná kapacita [Jkg⁻¹K⁻¹], m hmotnost vzduchu [kg], $T_{(n+1)}$ nová teplota vzduchu [K], T_n původní teplota vzduchu [K]. Z rovnosti (10) a (11) vychází aktualizovaná teplota vzduchu:

$$T_{n+1} = T_n + \frac{Q_\alpha}{c \cdot m}, \quad (12)$$

tedy po dosazení:

$$T_{n+1} = T_n + \frac{\alpha \cdot S \cdot (T_{wall} - T_{air}) \cdot \Delta t}{c \cdot \rho \cdot V}, \quad (13)$$

kde V je objem vzduchu v úseku [m³], ρ hustota vzduchu [kgm⁻³]. Skupenské kondenzační teplo L_V [J] je dáno vztahem [2]:

$$L_V = l_V \cdot m, \quad (14)$$

kde l_V je měrné skupenské teplo [Jkg⁻¹] a m hmotnost zkonzenzované vody [kg].

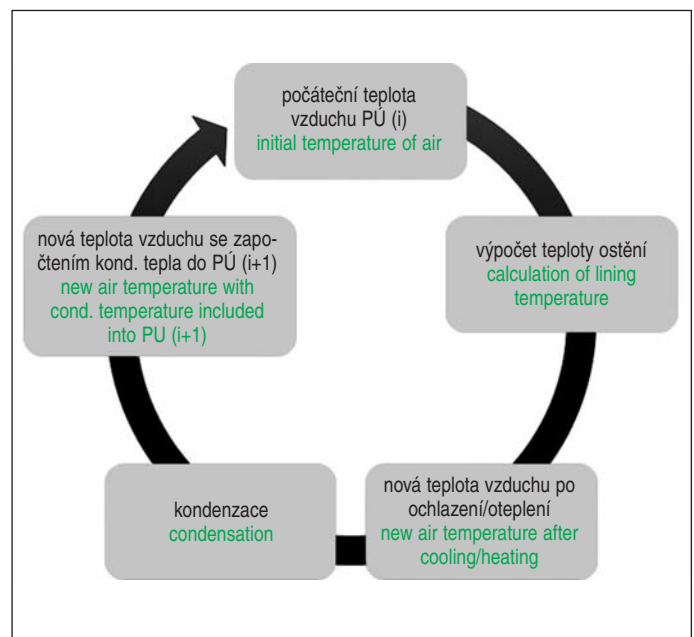
$$m_i = k \cdot (m_{entry} - m_{s,exit}), \quad (15)$$

where k is a coefficient taking into account various aspects of the simplification, m_{entry} is the specific weight of water vapour at the entry to the section [kgm⁻³], $m_{s,exit}$ is the specific weight of water vapour at the exit from the section with the air saturated [kgm⁻³]. m_{i+1} [kgm⁻³] passes to the next section:

$$m_{i+1} = m_{s,exit} + (1 - k) \cdot (m_{entry} - m_{s,exit}). \quad (16)$$

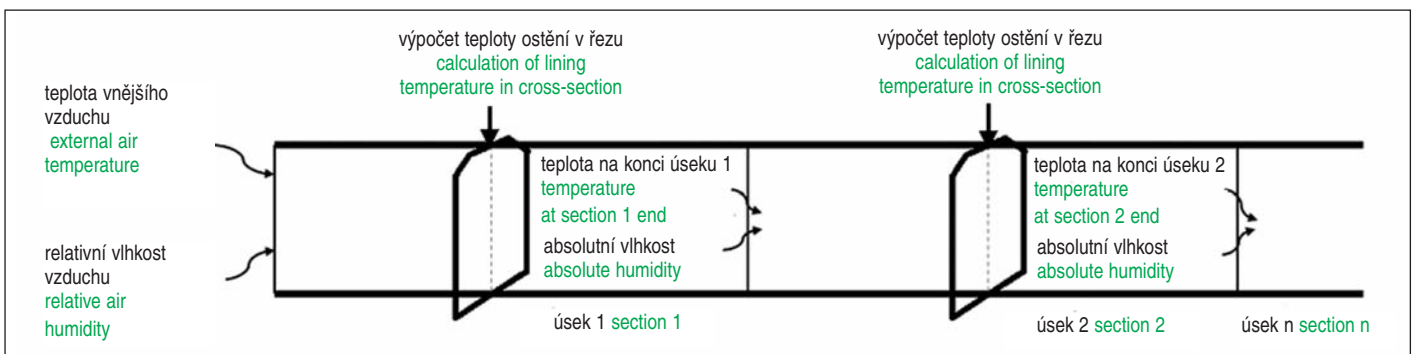
The amount of condensed water per one day is determined by means of equation (7). The condensation heat and the changed temperature are further calculated by the relationships (14) and (12), respectively. In the next section, the boundary condition is the exit temperature from the preceding section and the whole process is repeated in succession for each following balance section (see Figures 8 and 9). The boundary condition is affected by the behaviour of preceding sections, therefore is different in each section.

The outer temperature of air on the ground surface was considered to be equal for all sections within the particular step of time. The initial condition was also identical for all sections, equal to the temperature inside the ground body and the tunnel body of 10.57°C.



Obr. 8 Výpočet kondenzace v podélném směru pomocí metody konečných objemů

Fig. 8 Calculation of condensation in the longitudinal direction using the Finite Volume Method



Obr. 9 Schéma 2,5D výpočtu
Fig. 9 2.5D calculation scheme

Předchozím výpočtem se stanovila výstupní teplota vzduchu na konci úseku, s uvažováním ochlazení nebo ohřátí o ostění, viz vztahy (8)–(13).

Pro každý bilanční úsek jsou vstupními parametry teplota vzduchu a měrná hmotnost vodní páry z předchozího úseku, případně u prvního úseku vstupní hodnoty. Výstupní hodnoty jsou určeny změnou teplotou (13). Výpočet teploty rosného bodu je proveden obdobným způsobem jako v kap. Model vedení tepla v příčném řezu.

Pokud v úseku klesne teplota vzduchu pod teplotu rosného bodu, je kondenzující měrná hmotnost vodní páry m_i [kgm⁻³] určena vztahem:

$$m_i = k \cdot (m_{vstup} - m_{s,vystup}), \quad (15)$$

kde k je součinitel, který zohledňuje různé aspekty zjednodušení, m_{vstup} měrná hmotnost vodní páry na vstupu do úseku [kgm⁻³], $m_{s,vystup}$ měrná hmotnost vodní páry na výstupu z úseku při nasyceném vzduchu [kgm⁻³]. Do dalšího úseku přechází m_{i+1} [kgm⁻³]:

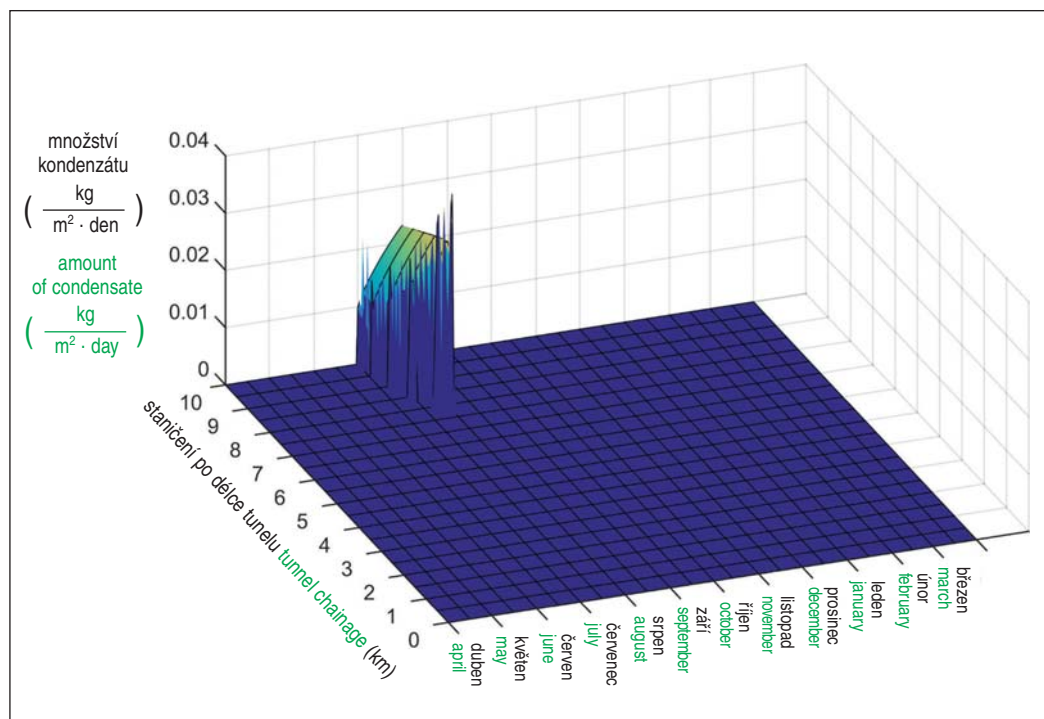
$$m_{i+1} = m_{s,vystup} + (1 - k) \cdot (m_{vstup} - m_{s,vystup}). \quad (16)$$

Množství zkondenzované vody za jeden den je určeno pomocí rovnice (7). Dále je spočítáno kondenzační teplo vztahem (14) a změněná teplota (12). V dalším úseku je okrajovou podmínkou výstupní teplota z úseku předcházejícího a celý proces se opakuje postupně pro každý další bilanční úsek (obr. 8, 9). Okrajová podmínka je tedy v každém úseku jiná, ovlivněná chováním předchozích úseků.

Vnější teplota vzduchu na povrchu země byla uvažována pro všechny úseky v daném časovém kroku stejná. Počáteční podmínka byla také pro všechny úseky stejná, a to teplota 10,57 °C v zemním i tunelovém tělese.

Na obr. 10 je zobrazeno množství kondenzátu v názorném příkladu liniové podzemní stavby, vztažené na kondenzační plochu ostění za den, které je vykresleno v podélném směru a v čase. Je třeba zdůraznit, že vzhledem k zavedeným zjednodušením výpočtu 2,5D se pro výpočet uvažuje teoretický příklad přímého tunelu s vodorovnou niveletou délky 10 km. Je důležité zajistit kompatibilitu mezi hodnotou počáteční a okrajové podmínky na začátku simulace, jinak je výpočet nestabilní. Z toho důvodu byla analýza zahájena v dubnu, kdy vnější průměrná teplota odpovídá uvažované počáteční teplotě v celém masivu. Maximální množství zkondenzované vody vychází 2,1 m³/den, které je 7 krát nižší než na obr. 7. Model se zahrnutím proudění vzduchu v podélném směru dává přesnější výsledky, neboť počítá výstupní teploty a relativní vlhkost vzduchu oproti hodnotám na obr. 7.

Na obr. 11 je ukázka výsledků z modelu kondenzace v podélném směru pro 1. srpen 2014, kdy bylo ve výše uvedeném příkladu tunelu množství kondenzátu největší. Vodorovná osa zobrazuje průběh



Obr. 10 Průběh kondenzace v podélném směru v čase

Fig. 10 The course of condensation in the longitudinal direction in time

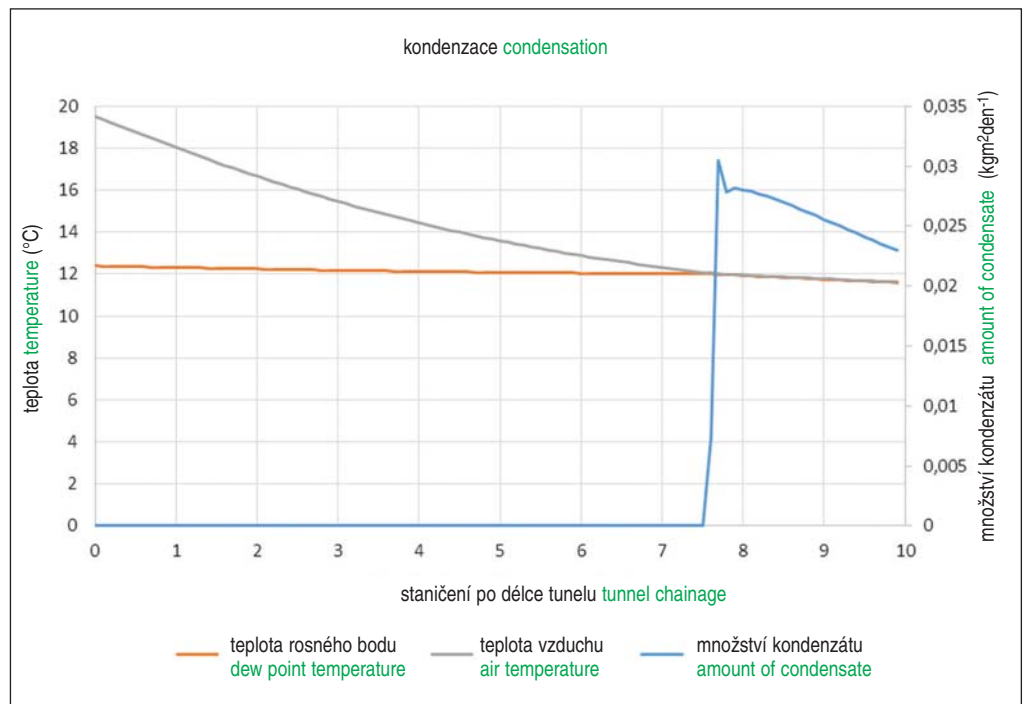
Fig. 10 presents the amount of the condensate in the illustrative example of a linear underground structure, related to the condensation area of the lining per day, which is described in the longitudinal direction and in time. It is necessary to emphasise the fact that, with respect to the simplification introduced into the 2.5D calculation, a theoretical example of a 10km long direct tunnel with a horizontal alignment is taken into account for this calculation. It is important to ensure compatibility between the values of the initial and boundary conditions at the beginning of the simulation, otherwise the calculation is instable. For that reason the work on the analysis commenced in April, when the average outer temperature corresponds to the initial temperature taken into account for the entire massif. The maximum amount of condensed water resulting from the calculation is 2.1m³/day; it is seven-times smaller than the value in Fig. 7. The model with the inclusion of air flowing in the longitudinal direction gives more accurate results in comparison with the values in Fig. 7 because it takes into account exit temperatures and relative humidity of air.

An example of results from the condensation model in the longitudinal direction for 1st August is presented in Fig. 11. At that time the amount of the condensate in the above-mentioned tunnel example was greatest. The horizontal axis depicts the course of condensation throughout the tunnel length. The amount of the condensate related to the lining surface area per day is presented on the vertical axis. Average relative humidity values measured in 2014 are being taken into account. The calculation is carried out with a 12-hour step of time, the individual sections 100m long and the maximum air flow velocity of 1ms⁻¹. The condensate amount is greatest at the beginning of condensation and subsequently fluently decreases. The irregularity in the initial condensation sections could be reduced by reducing the lengths of the sections, but it could also mean a significant extension of the calculation duration.

The condensation in the longitudinal direction is significantly affected by the air flow velocity. If the velocity is too high, the air according to the calculation will not cool down to make the

kondenzace po délce tunelu. Na svislé ose je množství kondenzátu vztahované na plochu ostění za den. Uvažují se průměrné relativní vlhkosti v roce 2014 [6]. Výpočet je proveden s časovým krokem 12 hodin, velikostí jednotlivých úseků 100 m a maximální rychlostí proudění vzduchu 1 ms^{-1} . Množství kondenzátu je největší na počátku kondenzace a pak plynule klesá. Nepravdivost v prvních úsecích kondenzace by se dala zmenšit zkrácením úseků, ale také by to znamenalo výrazné prodloužení času výpočtu.

Na kondenzaci v podélném směru má velký vliv rychlost proudění. Pokud je rychlost příliš velká, vzduch se podle výpočtu nestihne ochladit natolik, aby ke kondenzaci došlo. Velký vliv by měl provoz vozidel, který se v současném případě neuvažuje.



Obr. 11 Průběh teploty a kondenzace v podélném směru (1. srpen 2014)

Fig. 11 The course of temperature and condensation in the longitudinal direction (1st August 2014)

ZÁVĚR

Příspěvek se věnuje stanovení množství kondenzované vody v tunelovém tělese. Jednoduchý model je založen na měření teplot a relativních vlhkostí vzduchu na vstupu a výstupu tunelu a maximální rychlosti proudění vzduchu. Množství kondenzátu lze vypočítat z bilanční rovnice měrné hmotnosti vodní páry. Kombinace příčného a podélného modelu (2,5D) je použitelná pro přesnější výpočet kondenzace vodní páry v tunelech, vyžaduje však více dat a výpočetního času.

Ing. MICHAELA MRAČKOVÁ, *michaela.mrackova@fsv.cvut.cz*,

prof. Dr. Ing. BOŘEK PATZÁK, *borek.patzak@fsv.cvut.cz*,

doc. Ing. VÍT ŠMILAUER, Ph.D.,

vit.smilauer@fsv.cvut.cz,

doc. Dr. Ing. JAN PRUŠKA, *pruska@fsv.cvut.cz*,

Fakulta stavební, ČVUT v Praze

Recenzovali Reviewed: doc. Ing. Petr Frantík, Ph.D.,
Ing. Jiří Maděra, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl za podpory programu Centra kompetence Technologické agentury České republiky (TAČR), číslo projektu TE01020168.

kondenzace possible. The vehicular traffic could have a significant effect. This effect is currently not taken into consideration.

CONCLUSION

The paper is dedicated to the determination of the amount of condensed water in a tunnel body. The simple model is based on measuring temperatures and relative humidity of air at the tunnel entry and tunnel exit and the maximum air flow velocity. The condensate amount can be calculated from the balance equation for specific weight of water vapour. A combination of a transverse and longitudinal model (2.5D) is applicable for more accurate calculations of the condensation of water vapour in tunnels, but it requires more data and calculation time.

Ing. MICHAELA MRAČKOVÁ,

michaela.mrackova@fsv.cvut.cz,

prof. Dr. Ing. BOŘEK PATZÁK, *borek.patzak@fsv.cvut.cz*,

doc. Ing. VÍT ŠMILAUER, Ph.D., *vit.smilauer@fsv.cvut.cz*,

doc. Dr. Ing. JAN PRUŠKA, *pruska@fsv.cvut.cz*,

Fakulta stavební, ČVUT v Praze

ACKNOWLEDGEMENTS

The paper originated with the support of the program of the Competence Centre of the Technology Agency of the Czech Republic (TACR), project No. TE01020168.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] ČERNÝ, R. Řešení transportních jevů na počítači. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 978-800-1015-803
- [2] Fyzikální sekce Matematicko-fyzikální fakulty UK. Skupenská tepla. [Online]. Available: http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/molekul/8_3.
- [3] PADFIELD, T. Conservation Physics – Index. [Online]. Available: <http://www.conservationsphysics.org/atmcalc/atmoclc2.pdf>.
- [4] PATZÁK, B. OOFEM - an object-oriented simulation tool for advanced modeling of materials and structures. Acta Polytechnica, 52(6):59-66, 2012
- [5] HLŮŽE, L. Městský okruh v Praze: Malovanka – Pelc-Tyrolka. [Online]. Available: <http://mo.ttnz.cz/informace/souhrnne-udaje/>
- [6] Český hydrometeorologický ústav. Měsíční data 2014. [Online]. Available: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data>
- [7] DAŇKOVÁ, M. Analýza kondenzace vodní páry v tunelu. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, katedra mechaniky, 2017
- [8] MIKŠ, A., NOVÁK, J. Fyzika I. 2. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05201-3

BETON VYZTUŽENÝ VLÁKNY A JEHO APLIKACE V TUNELECH

FIBRE REINFORCED CONCRETE AND ITS APPLICATION IN TUNNELS

JAN L. VÍTEK, PETR VÍTEK

ABSTRAKT

Vláknobeton se těší stále větší oblibě. Důvodem je snadnější výroba betonových prvků a konstrukcí a z toho plynoucí nižší náklady. Vlákná mohou plnit různé funkce, omezovat vznik trhlin, přispívat k vyšší požární odolnosti nebo zlepšovat mechanické působení materiálu. Klasická ocelová vlákna používaná pro přenos tahových namáhání mohou být nahrazena vlákny nekovovými. Vlastnosti syntetických vláken jsou odlišné od vlastností ocelových vláken, což se odráží též v odlišném působení vláknobetonu. Obecně mají prvky s disperzní výztuží značný statistický rozptyl zejména při namáhání tahem, popř. tahem za ohybu, což je třeba respektovat při návrhu konstrukcí. Též tahové změkčení, které je typické pro ekonomický vláknobeton, vymezuje oblast použití tohoto materiálu. Aplikace vláknobetonu na tunelová ostění se ukazuje jako velmi výhodná. V oblasti stříkaných betonů umožňuje zejména zrychlení ražeb, v oblasti prefabrikovaného ostění při mechanizovaném tunelování vede k úspornému a kvalitnímu ostění. Některé zkušenosti s výstavbou tunelových prefabrikovaných ostění jsou též uvedeny. Vývoj drátkobetonu i vláknobetonu byl částečně podpořen Technologickou agenturou ČR v rámci výzkumného centra pro udržitelnou dopravní infrastrukturu – CESTI.

ABSTRACT

Fibre reinforced concrete enjoys increasing popularity. The reason is easier production of concrete elements and structures and the lower costs following from it. The fibres can fulfil various functions, restrict the development of cracks, contribute to higher fire resistance or improve mechanical performance of material. Classical steel fibres used for transferring tensional stresses can be replaced with non-metallic fibres. Properties of non-metallic fibres differ from those of steel fibres, which tensile stresses is also reflected in different action of the steel/non-metallic fibre reinforced concrete. In general, elements containing dispersed fibre reinforcement show significant statistical scattering, mainly when stressed by tension or by flexural tension. It is necessary to respect this fact when designing structures. Even the process of tension softening, which is typical for economic non-metallic fibre reinforced concrete, defines the area of use of this material. The application of non-metallic fibre reinforced concrete to tunnel liners proves to be very advantageous. In the area of shotcrete, the application allows first of all for acceleration of tunnel excavation; in the area of pre-cast liners in mechanised tunnelling it leads to economic and good quality linings. Some experience with the construction of pre-cast tunnel liners is presented in the paper. The development of steel fibre reinforced concrete and non-metallic fibre reinforced concrete was partly supported by the Technology Agency of the Czech Republic within the framework of the Centre for Effective and Sustainable Transport Infrastructure (CESTI).

1. ÚVOD

Beton je vynikající materiál pro stavební konstrukce, avšak jeho omezená tahová pevnost vyžaduje vyztužení dalšími materiály. V tunelech se objevují aplikace rozptýlené výztuže místo klasické prutové výztuže. Motivací použití vláknobetonu je úspora nákladů zejména vlivem zjednodušení technologie výstavby a dále zlepšení některých vlastností konstrukčních prvků. Vláknobeton se vyvíjí již od poloviny 20. století, avšak stále nejsou k dispozici kompletní návrhové předpisy.

Článek se zabývá popisem působení jednotlivých vláken s důrazem na jejich mechanickou funkci. Je zmíněn postup porušování vláknobetonu v závislosti na vlastnostech použitých vláken. Dále jsou uvedeny příklady aplikací vláknobetonu v tunelech, včetně zkušeností autorů, i částečně na ostatních konstrukcích. Řada experimentů i numerických výpočtů zmíněných v článku byla provedena za podpory projektu CESTI.

2. POUŽÍVANÁ VLÁKNA A JEJICH ÚČEL

Vlákná zamíchaná do betonu mohou mít různý účel. Kromě konstrukčního betonu, kterému je věnován tento článek, mohou vlákna plnit řadu jiných funkcí. Krátká lehká organická vlákna (např. PP, PE nebo skleněná) se používají pro omezení vzniku trhlin ve velmi mladých betonech. Tato vlákna mají malý modul pružnosti, srovnatelný s modulem betonu v době počátku tuhnutí. V této fázi, kdy beton je velmi citlivý na jakékoli porušení, vlákna působí jako výztuž. Po zatvrdnutí betonu nemají již význam pro přenos zatížení, protože jsou poddajná a jejich množství je poměrně malé. Při návrhu složení betonu je

1. INTRODUCTION

Concrete is an excellent material for building structures, but its limited tensile strength requires reinforcing with other materials. Application of dispersed fibre reinforcement instead of classical steel bar reinforcement appears in tunnels. The motivation for the application of dispersed fibre reinforced concrete lies in savings of costs, first of all due to the simplification of the construction technology and improvement in some properties of structural elements. Fibre reinforced concrete has been developed already since the middle of the 20th century, but complete design regulations are not available yet.

The paper deals with the description of the action of individual dispersed fibres with the stress put on their mechanical function. It mentions the process of disturbing dispersed fibre reinforced concrete depending on the properties of the dispersed fibres used. In addition, examples of application of dispersed fibre reinforced concrete in tunnels are presented, including our experience, and partly examples of the application to other structures. Numerous experiments and numerical calculations mentioned in the paper were conducted with the support of the project CESTI.

2. USED FIBRES AND THEIR PURPOSE

Fibres mixed into concrete can have various purposes. Apart from structural concrete, which this paper is dedicated to, dispersed fibres can fulfil many other functions. Short lightweight

třeba vliv vláken respektovat, protože mohou nepříznivě ovlivňovat zpracovatelnost.

Další obvyklá funkce poddajných malých vláken je zvyšování odolnosti proti požáru. Beton obsahuje po celou dobu životnosti určitý obsah vody v jeho pórovité struktuře. Při vystavení povrchu zvyšující se teplotě se voda mění v páru a rostoucím tlakem postupně roztrhá betonovou strukturu a dochází tak k odprýskání povrchové vrstvy betonu. Tím se vysoké teploty dostanou až k výztuži a může nastat poměrně rychlý kolaps konstrukce. Aplikací vhodných vláken se postupná degradace betonu značně zpomalí, protože při vyšší teplotě se vlákna rozpustí a vytvoří v betonu póry, kterými pára z odpařované vody může unikat a nedojde k vysokým tlakům narušujícím beton. Vysoká teplota naruší beton do určité hloubky, ale beton neodprýská. Působí jako izolace a neumožní výrazné ohřívání betonu ve větších hloubkách pod povrchem, kde je umístěna výztuž. Po skončení požáru je nutné povrchovou poškozenou vrstvu odbourat a nahradit novou, ale vnitřek konstrukce může požár bez kolapsu přežít.

Konstrukční vláknobeton je dnes atraktivní, neboť vlákna mohou nahradit část, ve zvláštních případech i všechnu klasickou výztuž, čímž lze dosáhnout zjednodušení výroby konstrukčních prvků a v řadě případů i zlevnění konstrukcí.

3. KONSTRUKČNÍ VLÁKNOBETON

Článek je zaměřen na tzv. konstrukční vláknobeton. Jde o materiál, kde vlákna mají statickou funkci a podílejí se na přenášení zatížení. Nejčastější formou je drátkobeton, kde jsou použita ocelová vlákna. Vlákna se liší svým tvarem, rozměry a koncovou úpravou. Aby se vlákna mohla podílet na přenášení zatížení, musí být použito určité minimální dávkování. V případě běžných ocelových vláken se minimální dávka pohybuje kolem cca 40 kg/m³ betonu, což je cca 0,5 %. Vyšší dávka drátků zlepšuje tahové vlastnosti, ale na druhé straně zhoršuje zpracovatelnost a samozřejmě zvyšuje náklady. Vyšší procento drátků se používá pro ultra vysokohodnotné betony, kde dávkování dosahuje 2 až 3 % drátků. Tyto směsi však používají menší vysokopevnostní drátky a jejich úlohou je zejména omezit křehkost porušení. Z hlediska aplikace na konstrukcích se za konstrukční drátkobeton považuje materiál s tlakovou pevností cca 30 až 100 MPa, s obsahem drátků v rozmezí cca 35 až 80 kg/m³.

V případě použití jiných než ocelových vláken se hovoří o vláknobetonu. Materiál vláken může být různý, vlákna na bázi skla, čediče, uhlíku nebo vlákna na bázi organických látek, jako je polypropylén, PVC, PVA, apod. U vláken z organických látek je jedním ze základních parametrů modul pružnosti. Menší modul pružnosti, se kterým se často lze setkat, vyžaduje k aktivaci síly ve vlákně velkou deformaci. To vede k rozšiřování trhliny ve větší míře, než je tomu u ocelových vláken. Aby se dosáhlo potřebné tuhosti vláken, je třeba zvýšit jejich množství, což může vést k technologickým problémům a též ke zvýšeným nákladům.

Pro specifikaci a výrobu drátkobetonu a vláknobetonu platí obecná evropská norma ČSN EN 206 a dále navazující norma ČSN P 732450.

4. MECHANICKÉ PŮSOBENÍ VLÁKNOBETONU

Vláknobeton, podobně jako běžný beton, má rozdílné působení při namáhání tlakem a tahem. Vláknobeton je dvoufázový kompozitní materiál, který se skládá z betonové matrice a z vláken. Tlakové působení je podobné jako u běžného betonu.

organic fibres (e.g. PP or PE) are used for restricting the origination of cracks in very fresh concrete. These fibres have a small modulus of elasticity, which is comparable with the modulus of concrete at the beginning of setting. In this phase, when concrete is highly sensitive to any damage, the fibres act as reinforcement. After curing of the concrete, fibres have no more importance for the transfer of loads because they are yielding and their quantity is relatively small. When the concrete composition is being designed, it is necessary to respect the influence of fibres because they can unfavourably influence the workability.

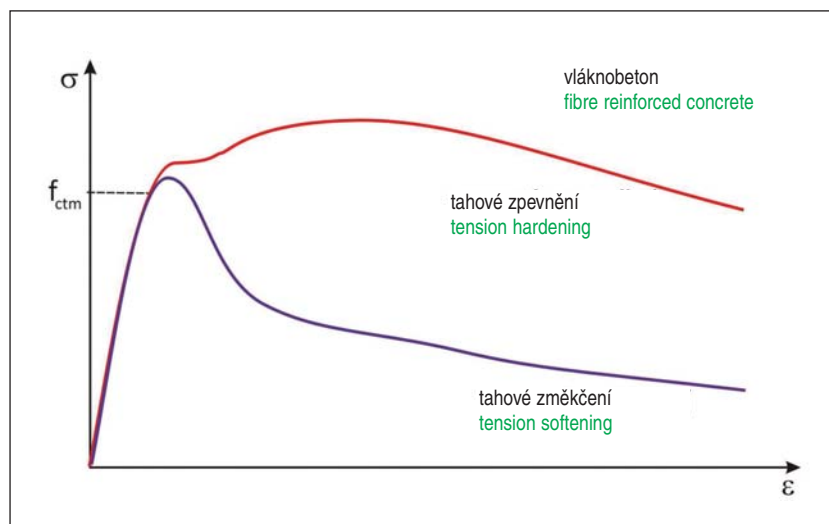
Another common function of small flexible fibres is increasing the fire resistance. Concrete contains certain amount of water in its porous structure throughout the lifetime. When the surface is exposed to increasing temperature, water turns into steam and gradually breaks the concrete structure by growing pressure; the surface layer of the concrete gradually spalls off. As a result, high temperatures get up to the steel reinforcement and a relatively rapid collapse of the structure may take place. The gradual degradation of concrete significantly decelerates by the application of suitable fibres because the fibres melt and form pores in the concrete through which steam from the evaporated water can escape and the high pressures disturbing the concrete does not originate. High temperature disturbs the concrete to a certain depth, but the concrete does not spall off. It acts as insulation and does not allow significant heating of concrete at greater depths under the surface where steel reinforcement is placed. After the end of the fire it is necessary to remove the destroyed layer and replace it with a new one, but the inner part of the structure may survive the fire without a collapse.

Structural fibre reinforced concrete is today attractive because fibres can replace a part, in special cases even all classical reinforcement, thus to achieve the simplification of the production of structural elements and, in numerous cases, even the reduction in construction costs.

3. STRUCTURAL FIBRE REINFORCED CONCRETE

The paper is focused on the so-called structural fibre reinforced concrete. It is a material where fibres have a static function and participate in transferring the loads. The most frequent form is the steel fibre reinforced concrete, where steel fibres are used. The fibres differ in their shape, dimensions and the form of their ends. Certain minimum dosage of the fibres has to be used to allow the fibres to participate in the process of transferring loads. In the case of common steel fibres the minimum dosage fluctuates about ca 40kg/m³ of concrete, which is approximately 0.5 per cent. A higher dosage of steel fibres improves tensile properties, but on the other hand, influences workability and, naturally, increases the costs. A higher percentage of steel fibres is used for ultra high-value concretes, where the dosage of steel fibres reaches 2 to 3 per cent. But these mixes use smaller high-strength steel fibres and their purpose is first of all to restrict the brittle nature of failure. From the aspect of the application to structures, a material with the compressive strength of ca 30 to 100MPa with the content of steel fibres ranging from ca 35 to 80kg/m³ is considered to be a structural concrete.

In the case of other than steel fibres we speak about non-metallic fibre reinforced concrete. The material of the fibres can vary – glass, basalt, carbon or organic matters, such as polypropylene PVC, PVA, etc. In the case of fibres made of



Obr. 1 Pracovní diagram drátkobetonu s tahovým zpevněním a s tahovým změkčením
Fig. 1 Stress-strain diagram for steel fibre reinforced concrete exhibiting strain hardening and strain softening

Tlaková pevnost není obsahem vláken významně ovlivněna. Tahové působení se od běžného betonu liší podle toho, jaký druh a jaký obsah vláken je použit. Pokud jde o konstrukční vláknobeton, je pro navrhování konstrukcí a jejich prvků rozhodující působení v tahu. Vlastnosti jednotlivých fází určují vlastnosti výsledného kompozitu.

Tlakové působení

Při tlakovém působení se prvek ve směru zatížení zmenšuje a konstrukce je namáhána současně příčným tahem. To lze ilustrovat na válcové zkoušce v tlaku. Prostý beton selže, pokud napětí v příčném tahu dosáhne tahové pevnosti betonu a dojde ke vzniku trhlin a kolapsu prvku. U vláknobetonu je postup porušení podobný. Po vzniku trhliny se aktivují vlákna a zamezí náhlému dynamickému porušení. I v případě vláknobetonu o porušení při tlakové zkoušce rozhoduje vznik podélné trhliny, který je nejvíce závislý na tahové pevnosti betonové matrice. Proto je tlaková pevnost podobná jako u prostého betonu, při běžně užívaných množstvích vláken.

Tahové působení

Pokud je prvek vystaven tahovému zatížení, napětí v kompozitu se zvyšuje, až dojde ke vzniku trhliny. Pak beton přestává působit a aktivují se vlákna v trhlíně. Rychlost jejich aktivace, tzn. rozšíření trhliny, než se ve vláknech aktivuje síla, kterou dříve přenášel beton, závisí převážně na modulu pružnosti vláken a na jejich množství, resp. průřezové ploše. Pokud po vzniku trhliny dojde ke zvýšení únosnosti v tahu, jde o kompozit s tahovým zpevněním. V takovém případě je únosnost vláken větší než únosnost betonu v tahu před vznikem trhliny. Pokud po vzniku trhliny a aktivaci vláken bude únosnost prvku nižší než únosnost betonu v tahu před vznikem trhliny, pak jde o kompozit s tahovým změkčením (obr. 1).

Tahového zpevnění lze dosáhnout při vysokém obsahu vláken (drátků). Takové kompozity jsou ale většinou drahé a náročné na technologii výroby. Proto ve většině aplikovaných případů byly použity vláknobetonu se změkčením. Ty jsou ekonomické a lze je vyrábět s přiměřeným úsilím v běžných betonárnách. Tahové změkčení však představuje riziko křehkého porušení konstrukce, proto tyto materiály lze používat pouze za určitých podmínek.

Zkoušení vláknobetonu

Kvalita vláknobetonu se zkouší podobně jako u běžného betonu řadou zkoušek. Zkoušky čerstvého vláknobetonu jsou

organických materiálů, jedním z základních parametrů je modul pružnosti. Menší modul pružnosti, který můžeme často narazit, vyžaduje velkou deformaci pro aktivaci síly ve vláknech. To vede k většímu roztažení trhliny, než je tomu u ocelových vláken. Pro dosažení požadované tuhosti vláken je nutné je zvýšit, což může vést k technologickým problémům a také k zvýšeným nákladům.

Obecná evropská norma ČSN EN 206 a odkazující norma ČSN P 732450 jsou aplikovatelné na specifikaci a výrobu ocelově vláknobetonu.

4. MECHANICAL PERFORMANCE OF FIBRE REINFORCED CONCRETE

Performance of fibre reinforced concrete is different during compression and tension, similarly to common concrete. Fibre reinforced concrete is a two-phase composite material comprising of concrete matrix and fibres. The behaviour of fibre reinforced concrete under compression is similar to that of the usual concrete. Compressive strength is not significantly affected by the content of fibres. The behaviour in tension is different from that of common concrete, depending on the type of fibres used and their content. As far as structural fibre reinforced concrete is concerned, their performance in tension is crucial for designing structures and their elements. The properties of individual phases determine the properties of the resultant composite.

Performance under compression

Under compression, deformation in the direction of loading is reduced and the structure is stressed concurrently by transverse tension. It can be illustrated on a compression cylinder test. Unreinforced concrete fails when the tensile stress reaches the tensile strength of concrete and cracks begin to originate – the element collapses. In the case of fibre reinforced concrete the process of failure is similar. After the origination of a crack the fibres are activated and prevent sudden dynamic failure. It is even in the case of fibre reinforced concrete that the origination of a longitudinal crack during a compression test decides when the element fails (it depends most of all on the tensile strength of the concrete matrix). For that reason the compressive strength is similar to the compressive strength of unreinforced concrete when the common amount of fibres is used.

Performance under tension

If the element is exposed to tension, the stress in the composite material grows until a crack develops. Then the concrete matrix ceases to act and the fibres in the crack are activated. The rate of their activation, i.e. extending the crack width before the force transferred previously by concrete is activated in the fibres, depends mostly on the modulus of elasticity of the fibres and their amount or their cross-sectional area. If the resistance to tension increases after the origination of the crack, it is the case of strain hardening. In such a case the bearing capacity of fibres is higher than the tensile strength of concrete before the origination of cracks. If the resistance to tension after the origination of crack and activation of fibres is lower than the concrete resistance to tension before the crack origination, it is the case of a composite with strain softening (see Fig. 1).

dnes u nás definovány normou ČSN P 732451. Zkoušky zatvrdělého betonu slouží k ověření vlastností, jako jsou tlaková pevnost, tahové vlastnosti, modul pružnosti, smršťování, dotvarování, apod. Z hlediska funkčnosti a navrhování je nejdůležitější ověření tahových vlastností vláknobetonu. Lze použít normu ČSN P 732452. Tahové vlastnosti se stanovují obvykle zkouškou v tahu za ohybu nebo zkouškou v příčném tahu místo přímé tahové zkoušky. Důvodem je zejména technická náročnost provedení zkoušky v přímém tahu. Konstruktivní uspořádání zkoušky je mimořádně složité a malé odchylky vedou k významnému ovlivnění výsledků zkoušky. Statistický rozptyl vlastností, který je z podstaty vláknobetonu již velký, by se tak náročnou zkouškou ještě zvýšil.

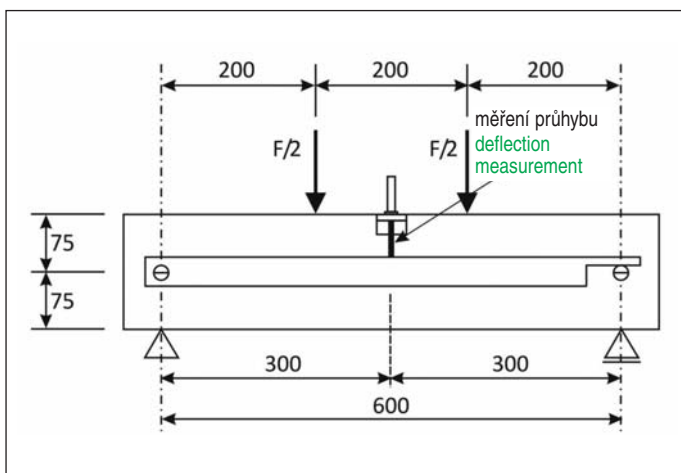
Zkouška v tahu za ohybu

Tato zkouška se stala nejrozšířenějším způsobem ověřování kvality vláknobetonu s ohledem na mechanické vlastnosti. V principu jsou dvě varianty, jak se zkouška provádí. V obou případech jde o zkoušku na trémci, standardně o rozměrech 150x150x700 mm.

První varianta je zkouška 4bodovým ohybem (obr. 2). Zkouší se tréma na rozpětí 600 mm zatížený dvěma břemeny umístěnými ve třetinách rozpětí. Zatěžuje se předepsanou rychlostí podle ČSN P 732452. Podobný postup je používán i v Německu, kde se postupuje podle Richtlinie DAfStb [1]. Výsledkem zkoušky je závislost síly na průhybu. Vyhodnocují se tři údaje, a to síla (zatížení) při vzniku makrotrhliny (nejvyšší hodnota u materiálů se změkčením), síla při průhybu 0,5 mm a síla při průhybu 3,5 mm (obr. 3). Protože pro dimenzování je nutné znát závislost napětí a deformace, jsou změřené veličiny převáděny pomocí principů lineární mechaniky a empirických vzorců.

Druhá varianta ohybové zkoušky se provádí podle doporučení RILEM uvedeného v evropské normě ČSN EN 14651. Tato metodika je též zmíněna v Model Codu fib2010 [2]. Zkouška spočívá v ohybu tréma na rozpětí 500 mm s vrubem, který je zatížen jednou silou uprostřed rozpětí, tedy 3bodovým ohybem (obr. 4). Vrub má hloubku 25 mm a určuje místo porušení. Při zkoušce se měří závislost zatěžovací síly na otevření trhliny.

Obě zkoušky jsou obecně považovány za rovnocenné. Zkouška 3bodovým ohybem má tu výhodu, že místo porušení je předem určeno, a lze tedy přesně měřit rozevření trhliny. U zkoušky 4bodovým ohybem je výhodou, že střední oblast je namáhána pouze ohybem, ale trhlina vzniká v místě, které má nejnižší únosnost, tj. většinou tam, kde je nejméně drátků



Obr. 2 Zkouška 4bodovým ohybem

Fig. 2 4-point bending test

Strain hardening can be achieved when the content of fibres is high. However, such composites are mostly expensive and demanding in terms of the production technology. For that reason fibre reinforced concretes strain softening were used in the majority of the application. They are economic and can be produced with a reasonable effort in common concrete batching plants. But strain softening represents a risk of brittle failure of the structure. For that reason these materials can be used only under certain conditions.

Fibre reinforced concrete testing

Fibre reinforced concrete is tested by a number of tests in a way similar to testing of common concrete. Testing of fresh fibre reinforced concrete is now defined in the Czech Republic by the CSN P 732451 standard. Testing of concrete after hardening is used to verify properties, such as compressive strength, tensile properties, modulus of elasticity, shrinkage, creep, etc. The most important from the aspect of the fibre reinforced concrete functionality and designing is the verification of its tensile properties. It is possible to apply the CSN P 732452 standard. The tensile properties are usually determined by a bending test or a transverse tensile test instead of a direct tensile test. The reason lies mainly in technical demands of the execution of the direct tension test. The structural arrangement of the test is extremely complicated and small deviations lead to significant influencing of the test results. The statistical scatter of properties, which is already large from the substance of fibre reinforced concrete, would be further increased due to the so demanding test.

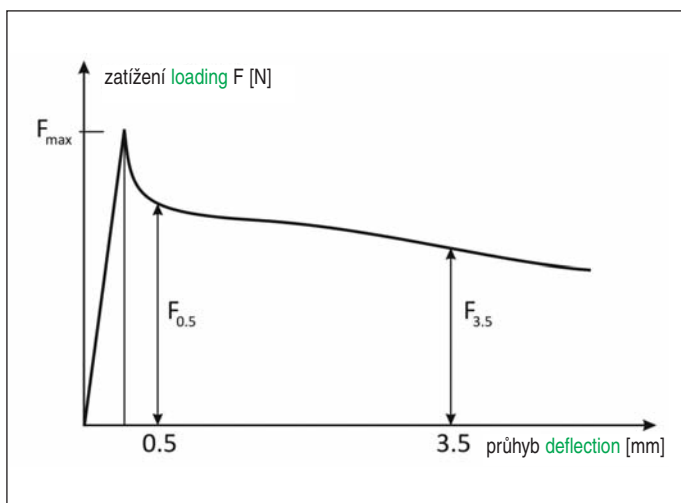
Bending test

This test became the most widespread way of verifying the quality of fibre reinforced concrete regarding the mechanical properties. In principle, there are two variants of how the test is performed. In both cases, the tests are conducted on beams with standard dimensions of 150x150x700mm.

The first variant is the 4-point bending test (see Fig. 2). The test is conducted on a beam with the span length of 600mm, loaded by two point loads located in the thirds of the beam span. The loading speed is prescribed by the CSN P 732452 standard. A similar procedure is also used in Germany, where the Richtlinie DAfStb [1] is used. The result of the test is the dependence of the force on the deflection. Three pieces of data are assessed, namely the force (loading) at the moment of origination of a macro-crack (the highest value for materials exhibiting tensile softening), the force at the deflection of 0.5mm and the force at the deflection of 3.5mm (see Fig. 3). Because of the fact that it is necessary to know the relationship between stress and strain for design purposes, the measured values are converted by means of the principles of linear mechanics and empirical formulas.

The second variant of the bending test is applied in accordance with the RILEM recommendations contained in the European standard CSN EN 14651. This methodology is also mentioned in the Model Code fib.2010 [2]. The test lies in bending a 500mm-span beam with a notch, which is loaded by a single point load in the middle of the span, which means 3-point bending (see fig. 4). The notch is 25mm deep and it determines the point of failure. The dependence of the loading force on the crack opening is measured during the test.

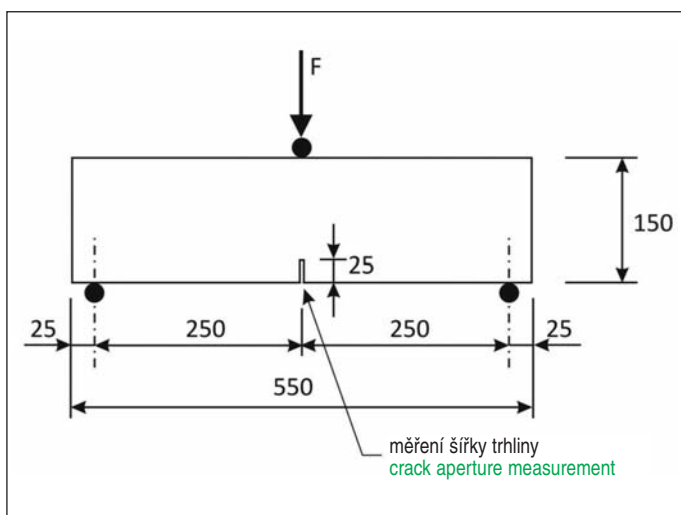
The two tests are generally considered to be equivalent. The advantage of the 3-point flexural loading is that the point of



Obr. 3 Diagram ze zkoušky 4bodovým ohybem
Fig. 3 4-point loading bending test diagram

(drátky nejsou rozptýleny zcela rovnoměrně). Při odzkoušení mnoha vzorků lze ze zkoušky 3bodovým ohybem určit i vliv statistického rozptylu drátků, což je u zkoušky 4bodovým ohybem zkráceno tím, že porušení nastane vždy v jiném průřezu. Zjednodušeně by se dalo říci, že zkouška 4bodovým ohybem spíše charakterizuje chování konstrukce, zatímco zkouška 3bodovým ohybem je zkouška stanovující materiálové parametry. Ve světě není jednotný názor na to, jaká zkouška by se měla doporučit, proto se používají obě. Obecně má vláknobeton velký rozptyl výsledků (nezávisle na typu zkoušky). Je to dáno tím, že používané drátky (vlákna) pro konstrukční beton jsou relativně velká, nejčastěji mají délku 35 až 60 mm. Vzhledem k velikosti zkušebního trámce je jejich počet v kritickém průřezu značně proměnný. Ve velké konstrukci je rozdělení vláken relativně rovnoměrnější než ve zkušebním trámcí. Zatím však není shoda na jiném způsobu zkoušení, než jsou standardní trámce.

V rámci řešení projektu CESTI byl zkoumán vliv rozmístění drátků ve zkušebních trámcích [3]. Motivací byly zjištěné rozdíly v parametrech drátkobetonu změřených na zkoušce větší konstrukce a na zkušebních trámcích. V tomto případě byly použity drátky o délce 60 mm a průměru 1 mm. Bylo zjištěno, že drátky jsou velmi dlouhé vzhledem k šířce formy



Obr. 4 Zkouška 3bodovým ohybem
Fig. 4 3-point bending test

failure is determined in advance, therefore the crack opening can be precisely measured. At the 4-point bending test, the advantage is the fact that the middle area is loaded only by bending, but the crack develops at the point at which the load carrying capacity is lowest, i.e. mostly there where the amount of fibres is smallest (the fibres are not dispersed totally evenly). When many specimens are subjected to testing, it is possible in the case of the 3-point bending test even to determine the influence of the statistical scattering of the fibres; this determination is distorted at the 4-point bending test by the fact that the failure point is always in a different cross-section. Simplified, it could be said that the 4-point bending test rather characterises the behaviour of the structure, whilst the 3-point bending test determines the material parameters. Because of the fact that no unified opinion on the test which should be recommended exists in the world, both tests are used. In general, the scattering of the results of fibre reinforced concrete tests is great (irrespective of the test type). The reason is the fact that the fibres used for structural concrete are relatively large, most frequently 35 to 60mm long. With respect to the dimensions of the testing beam, their quantity in the critical cross-section is highly variable. In a large structure, the distribution of fibres is relatively more uniform than that in a testing beam. But no agreement has been reached yet regarding another testing procedure than that using standard beams.

The influence of the distribution of fibres in testing beams [3] was examined within the framework of the solution to the CESTI project. It was motivated by the differences determined in the parameters of steel fibre reinforced concrete measured during the testing of a larger structure and on testing beams. In this case, steel fibres 60mm long and 1mm in diameter were used. It was determined that the steel fibres are very long with respect to the width of the beam mould (150mm) and they tend to deposit along the mould sides. It was in addition determined even by other experiments on ultra high-strength concrete that the steel fibres rather lay flat during the pouring of concrete. It follows from this fact that the amount of steel fibres in the vertical direction during the concrete pouring process is smaller than that in other directions. When longer fibres are used, the flexural strength tests on standard beams provide rather more favourable results than it is possible to expect on a large structure.

5. ACTION OF FIBRES IN FIBRE REINFORCED CONCRETE

Fibre reinforced concrete is formed by a concrete matrix and fibres. The matrix is broken by a crack during tension and the fibres are activated. Their action depends on the material properties of the fibres (the strength, the modulus of elasticity) and their bonding with the concrete and mechanical anchoring. Steel fibres have relatively high strength and also high modulus of elasticity. For that reason they are activated quickly, even at a small opening of the crack. If the load is increased, the tensile stress in them grows. Because their strength is high, their bonding and anchoring often fail and the fibres are rather pulled out before they break up. Their utilisation is improved by improving the anchorage (see Fig. 5). For that reason some manufacturers use steel fibres bent even several times in the end regions. Whether the steel fibre breaks up or is pulled out of the concrete is in addition decided by the angle the steel fibre crosses the developing crack. The research within the framework of the CESTI project in addition

trámce (150 mm) a že mají tendenci se ukládat podél stran bednění. Rovněž bylo zjištěno, a to i dalšími experimenty na ultra vysokopevnostním betonu, že drátky se při betonáži spíše pokládají. Z toho plyne, že ve směru svislém při betonáži je méně drátků než v ostatních směrech. Ohybové zkoušky na standardních trácích při použití delších vláken poskytují spíše příznivější výsledky, než lze očekávat na velké konstrukci.

5. PŮSOBNÍ VLÁKEN VE VLÁKNOBETONU

Vláknobeton je tvořen betonovou maticí a vlákny. Při tahovém namáhání se matrice poruší trhlinou a aktivují se vlákna. Jejich působení závisí na jejich materiálových vlastnostech (pevnost, modul pružnosti) a na soudržnosti s betonem, popř. mechanickém zakotvení. Ocelová vlákna mají poměrně vysokou pevnost a též vysoký modul pružnosti. Proto se aktivují rychle i při malém rozevření trhliny. Při dalším zatěžování v nich roste tahová síla. Protože jejich pevnost je velká, často dříve, než dojde k jejich přetržení, se poruší soudržnost a kotvení a drátky se spíše vytahují. Zlepšením kotvení se zvýší jejich využití (obr. 5). Proto někteří výrobci používají i vícekrát zalomené drátky v koncové oblasti. O tom, zda se drátek přetrhne, nebo vytáhne z betonu, rozhoduje též úhel, kterým překlenuje vznikající trhlinu. Výzkum v rámci projektu CESTI též zkoumal působení jednotlivých drátků při různé kotevní délce, které byly zabetonovány kolmo k povrchu nebo ve sklonu 45° [3]. Předmětem zkoušek byly drátky o délce 60 mm o průměru 1 mm s 1x zalomenou koncovou úpravou. Drátky byly jednotlivě vytahovány (obr. 6) a výsledky byly vyhodnoceny. Drátky kolmo na povrch byly vytaheny z betonu ve 100 % případů. U šikmých drátků došlo k přetržení ve více než 50 % případů. Únosnost šikmých drátků byla větší, ale jejich tuhost byla menší než u drátků kolmých k povrchu. Též se ukázalo, že hlavní vliv na zakotvení má koncová úprava drátků. U drátků kolmých na povrch se téměř neprojevil vliv délky zakotvení. Byly zkoušeny varianty se zakotvením 30 a 15 mm a výsledky byly téměř shodné, což ukazuje na význam koncové úpravy drátků.

Z uvedených poznatků plyne i vliv množství drátků na rozevírání trhliny. Předpokládáme drátky o průměru 0,75 a 1 mm



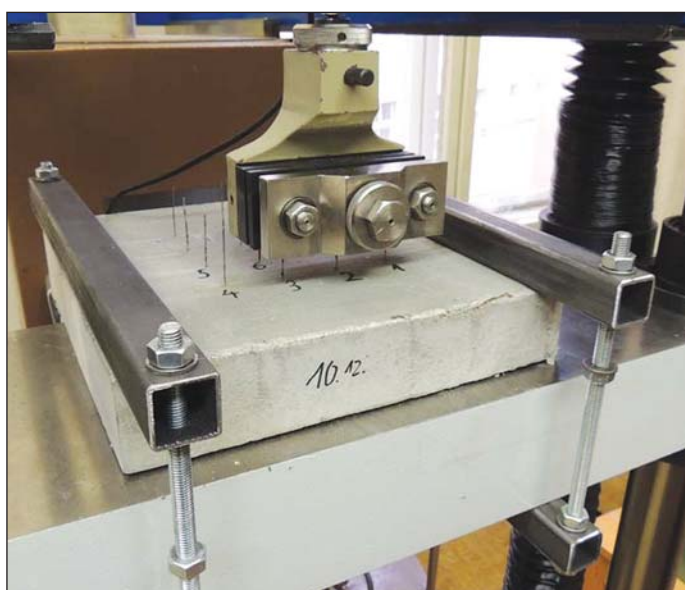
Obr. 5 Ocelové drátky Ø 1 mm, 60 mm dlouhé s jednoduchým zalomením na konci

Fig. 5 Steel fibres Ø 1mm, 60 mm long, with a simple bend at the end

examined the action of steel fibres with different anchoring lengths, which were incorporated into concrete perpendicularly to the surface or at an angle of 45° [3]. Steel fibres 60mm long and 1mm in diameter, with once bent ends were subjected to the tests. The fibres were pulled out individually (see Fig. 6) and the results were assessed. The steel fibres perpendicular to the surface were pulled out of the concrete in 100 percent of the cases. Angled fibres were broken up in more than 50 percent of the cases. The loading capacity of the angled fibres was higher, but their stiffness was smaller than that of fibres perpendicular to the surface. It has in addition turned out that the main influence on anchoring has the treatment of steel fibre ends. The effect of the anchoring length has nearly not shown up in the case of steel fibres perpendicular to the surface. Variants with the anchoring lengths of 30 and 15mm were tested and the results were nearly identical. This fact proves the importance of the treatment of the steel fibre ends.

Even the effect of the amount of steel fibres on the crack opening follows from the above-mentioned findings. Let us assume steel fibres 0.75mm and 1mm in diameter, with identical strengths. If the dosage is identical, e.g. 40kg, the amount of steel fibres will significantly differ; the amount of the thinner fibres will be nearly double. Their stiffness and strength will be identical because the effective cross-sectional area at the assumed uniform distribution of the steel fibres will be identical. On the other hand, the bonding and anchoring properties will be significantly more effective in the case of thinner steel fibres because the pull-out force will be approximately half and the bonding surface of a thinner fibre is three-quarter. In addition, the anchoring element is stressed by an approximately half of the force. The result is that the effectiveness of anchoring with thin fibres is significantly higher in comparison with thicker fibres. It follows from this fact that the resistance of thinner fibres to pulling out, which is substantial in the case of steel fibres, is higher. On the other hand, increasing the quantity of fibres may complicate the fibre reinforced concrete production technology.

Concretes reinforced with non-metallic fibres have recently been produced. The CESTI project has examined the influence of the so-called macro-synthetic fibres made of polyolefin (see Fig. 7). The fibres are geometrically similar to steel fibres (39mm long, 0.78mm in diameter), but their mechanical



Obr. 6 Pull-out test kolmých drátků

Fig. 6 Pull-out test of perpendicular steel fibres



Obr. 7 Syntetická makrovlákna $\varnothing$ 0,78 mm, délka 39 mm
Fig. 7 Macro-synthetic fibres $\varnothing$ 0.78 mm, 39mm long

stejně pevnosti. Pokud dávkování bude shodné, tj. např. 40 kg, pak množství drátků bude značně odlišné, drátků menšího průměru bude téměř dvakrát více. Jejich tuhost a pevnost bude stejná, protože účinná průřezová plocha při předpokládaném rovnoměrném rozdělení drátků bude stejná. Na druhé straně soudržnost a kotvení bude výrazně účinnější při tenčích drátcích, neboť síla bude cca poloviční a soudržná plocha tenčího vlákna je třičtvrtinová, a navíc kotevní prvek je namáhán cca poloviční silou. Výsledkem je výrazně vyšší účinnost kotvení u tenkých vláken proti tlustším vláknům. Z toho plyne, že tenčí vlákna mají větší odolnost proti vytažení, která je u ocelových vláken podstatná. Na druhou stranu zvyšování počtu vláken může komplikovat technologii výroby vláknobetonu.

V poslední době se vyrábějí vláknobetonu s nekovovými vlákny. V rámci projektu CESTI byl zkoumán vliv tzv. makrovláken, syntetických vláken z polyolefinu (obr. 7). Jsou geometricky podobná vláknům ocelovým (délka 39 mm, profil 0,78 mm), avšak mají jiné mechanické vlastnosti. Jejich pevnost (470 MPa) i modul pružnosti (3,6 GPa) jsou nižší než u ocelových vláken, což se samozřejmě projevilo na výsledcích zkoušky v tahu za ohybu. Naopak množství vláken v betonu je větší a jejich zakotvení je velmi dobré. Objemová hmotnost je malá a rovněž manipulace v makrovlákny je snadnější. Dávkování se pohybovalo mezi 5 a 12 kg/m³ betonu. Při dávkování 8 kg/m³ je počet vláken cca 2,5x větší než počet ocelových vláken (60x0,75 mm) při dávkování 40 kg/m³. To je výhodné, neboť se zvyšuje homogenita směsi a přitom je ještě technologicky únosné směs vyrábět.

Způsob porušení trámů zkoušených na ohyb je však vlivem odlišných vlastností makrovláken zcela jiný než u trámů s ocelovými drátky. Po vzniku trhliny se vlákna aktivují a dochází k jejich většímu protažení, protože jejich modul je menší, a zvýšeným množstvím vláken se tuhost ocelových vláken docílit nedá. Vlivem toho po vzniku trhliny dojde k většímu poklesu únosnosti než u trámů s ocelovými vlákny (obr. 8). Pak se vlákna aktivují a nastane oblast jejich maximálního využití, kdy únosnost opět stoupne podle dávkování makrovláken. Pak nastane konečné porušení trámce, kdy se začnou makrovlákna trhat. Na rozdíl od ocelových vláken, která se z betonu vytahují, makrovlákna jsou dobře zakotvena a dochází k jejich přetržení (obr. 9). Z výsledků zkoušek je zřejmé, že makrovlákna jsou použitelná, ale jejich vlastnosti jsou odlišné od ocelové

properties are different. Their strength (470MPa) and modulus of elasticity (3.6GPa) are lower than those of steel fibres, which fact naturally reflected itself in the results of the bending test. On the contrary, the amount of fibres in concrete is higher and their anchoring is very good. The volume weight is small and even the handling of macro-synthetic fibres is easier. The dosage varied between 5 and 12kg/m³ of concrete. At the dosage rate of 8kg/m³ the number of fibres is approximately 2.5 times higher than the number of steel fibres (60x0.75) at the dosage rate of 40kg/m³. This is advantageous because the homogeneity of the mixture increases and producing the concrete mixture is still technologically feasible.

As a result of different properties of the macro-synthetic fibres, the process of failure of the flexural tensile strength tested beams is completely different than that in the case of beams containing steel fibres. After the origination of a crack, the fibres are activated and get elongated because their modulus of elasticity is smaller and it is impossible to achieve the stiffness of steel fibres by increasing the amount of fibres. Due to this fact, the loading capacity after the origination of the crack is greater than in the case of beams containing steel fibres (see Fig. 8). Subsequently the fibres are activated and the area of their maximum exploitation takes place, when the loading capacity again increases, depending on the dosing rate of the macro-synthetic fibres. Subsequently the final failure of the beam takes place, when the macro-synthetic fibres begin to break up. As opposed to steel fibres, which are pulled out of concrete, the macro-synthetic fibres are well anchored and their breaking up takes place (see Fig. 9). It is obvious from the results of the tests that the macro-synthetic fibres are usable, but their properties differ from steel reinforcement; the response of the beams is more flexible. Nevertheless, the advantage is that they do not corrode and can be better handled with.

6. NUMERICAL MODELLING OF FIBRE REINFORCED CONCRETE

Structures reinforced with fibres can be modelled in various ways. The use of existing computer programs has frequently led to the opinion that fibre reinforced concrete is a modified concrete (a single-phase material) and modified models for concrete have been used for modelling it. The computational working diagram is modified to correspond to the results of the tests conducted on specimens and subsequently is used in numerical models. The deciding parameters comprise the limit of proportionality, the tensile strength of the fibre reinforced concrete and the course of the descending branch of the stress-strain diagram. It is necessary to ensure the objectivity of the solution (independence from the size of finite elements). For that reason the fracture energy parameter (e.g. the Atena program) is used. Such single-phase models provide reasonably good results, which on the other hand require relatively detailed debugging according to the test results and high experience of the designer.

Another possibility is deriving of double-phase models, where the effect of the concrete matrix and the action of fibres are modelled separately. Such models are being developed even within the framework of the CESTI project [4]. Their parameters are derived from the fibre pull-out test (pull-out test on individual fibres) and other material parameters. It is

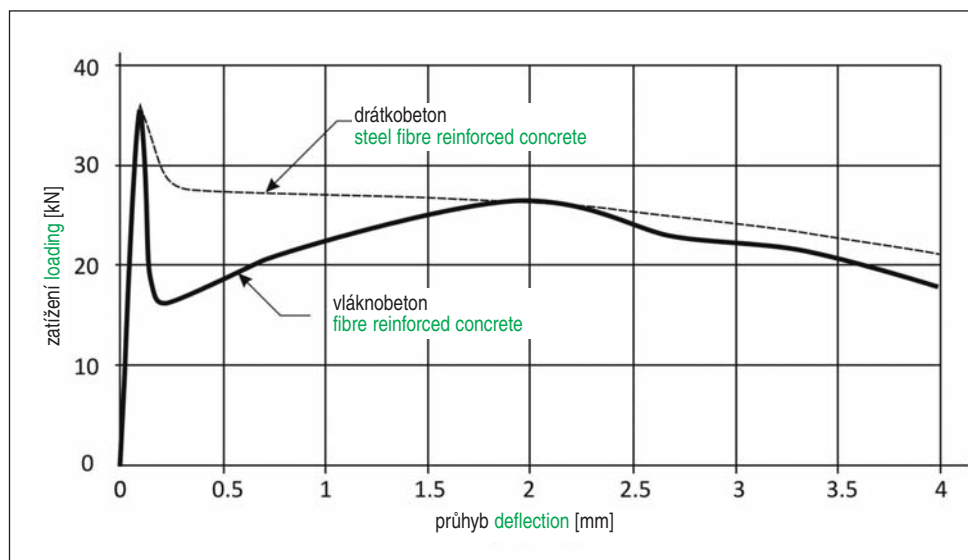
výztuže, odezva trámů je poddajnější. Výhodou je však to, že nekorodují a lze s nimi lépe manipulovat.

6. NUMERICKÉ MODELOVÁNÍ VLÁKNOBETONU

Konstrukce vyztužené vlákny se dají modelovat různým způsobem. Využití existujících výpočetních programů vedlo k tomu, že se vláknobeton často považuje za modifikovaný beton (jednofázový materiál) a k jeho modelování se používají upravené modely pro beton. Výpočtový pracovní diagram se upraví tak, aby odpovídal výsledkům zkoušek provedených na vzorcích, a pak se použije v numerických modelech. Rozhodujícími parametry jsou mez úměrnosti, tahová pevnost vláknobetonu a průběh sestupné větve pracovního diagramu. Pro výpočty založené na metodě konečných prvků je třeba zajistit objektivitu řešení (nezávislost na velikosti konečných prvků), a proto se využívá parametr lomové energie (např. program Atena). Takové jednofázové modely poskytují přiměřeně výstižné výsledky, které však vyžadují poměrně podrobné odladění podle výsledků zkoušek a značnou zkušenost projektanta.

Jinou možností je odvození tzv. dvoufázových modelů, kde se modeluje zvlášť působení betonové matrice a zvlášť působení vláken. Takové modely jsou ve vývoji též v rámci projektu CESTI [4]. Jejich parametry jsou odvozeny z vytažovací zkoušky vláken z betonu (pull-out test jednotlivých vláken) a dalších materiálových parametrů. Je třeba též zavést předpoklady o rozdělení a orientaci vláken v průřezích konstrukčních prvků. Dvoufázový model je schopen též dobře modelovat vliv velikosti na únosnost a porušování vláknobetonové konstrukce.

V oblasti podzemních staveb se setkáváme s problémem velmi rozdílné výstižnosti chování vložené betonové konstrukce a okolního horninového/zeminového masivu. Zatímco chování betonové konstrukce tunelového ostění lze poměrně



Obr. 8 Výsledek zkoušky – porovnání drátkobetonu (40 kg/m^3) a betonu s makrovláknem (12 kg/m^3)

Fig. 8 Test result – comparison of steel fibre reinforced concrete (40 kg/m^3) and concrete reinforced with macro-synthetic fibres (12 kg/m^3)

in addition necessary to introduce assumptions regarding the distribution and orientation of fibres in cross-sections of the structural elements. A double-phase model is also capable of correct modelling the influence of the size effect on the load bearing capacity and subsequent damage of the structure.

In the area of underground structures, we encounter a problem of very different aptness of the behaviour of the concrete structure inserted into the ground and the behaviour of the surrounding rock/soil massif. Whilst the behaviour of the concrete tunnel lining can be relatively well described using existing numerical models, there is still natural high statistical scattering of the properties of the rock/soil massif. This fact has to be taken into consideration when underground structures are being designed and suitable methods have to be applied to the verification of their reliability.

7. APPLICATION OF FIBRE REINFORCED CONCRETE

Fibre reinforced concrete exhibiting the strain softening is realistically usable for practical applications. Should the strain hardening be required, the material would probably be very expensive and, in addition, problems could be expected regarding the industrial production because of the fact that the content of fibres would be too large. For that reason, if fibres are designed to form the main concrete reinforcement providing the structural safety, the area of the use is limited.

It is generally required that structures are safe and their failure is not brittle. Because of the fact that the loading capacity of fibre reinforced concrete drops after the origination of a crack, a common structure would suddenly fail. For that reason it is possible to design fibre reinforced concrete structures mainly in the cases where the stress is redistributed after the origination of the crack and the cracked cross-section is unloaded without threatening the load-bearing capacity of the structure. In practice these structures comprise, for example, industrial floors, base slabs, tunnel liners or structures with combined reinforcement, where the adequate tensile hardening after the crack opens is provided by classical steel reinforcement or by pre-stressing tendons. Pre-stressed beams with the shear reinforcement omitted or shear reinforcement limited can be used as examples.



Obr. 9 Zlomek trámce po zkoušce s přetrhanými makrovláknem

Fig. 9 A fraction of the beam after testing, with broken synthetic macro-fibres

výstižně popsat existujícími numerickými modely, v oblasti hornin a zemin stále existuje přirozený vysoký statistický rozptyl jejich vlastností. To je třeba respektovat při navrhování podzemních staveb a zvolit vhodné metody pro ověřování jejich spolehlivosti.

7. APLIKACE VLÁKNOBETONU

Pro praktické aplikace je reálně použitelný vláknobeton s tahovým změkčením. Kdyby se mělo požadovat tahové zpevnění, byl by materiál pravděpodobně velmi nákladný a též by se daly očekávat problémy s průmyslovou výrobou, neboť obsah vláken by byl příliš velký. Proto pokud vlákna mají tvořit hlavní výztuž zajišťující bezpečnost konstrukce, je oblast jeho použití omezená.

Obecně se požaduje, aby konstrukce byly bezpečné a aby jejich porušení nebylo křehké. Protože po vzniku trhliny únosnost vláknobetonového průřezu poklesne, došlo by u běžné konstrukce k náhlému selhání. Proto lze vláknobetonové konstrukce navrhovat zejména tam, kde po vzniku trhliny, a tedy poklesu únosnosti dojde k přerozdělení namáhání, odlehčení porušeného průřezu bez ohrožení únosnosti konstrukce. V praxi jsou to např. průmyslové podlahy, základové desky, tunelová ostění, nebo konstrukce s kombinovanou výztuží, kde po otevření trhliny přiměřené tahové zpevnění zajistí klasická betonářská, popř. předpínací výztuž. Příkladem mohou být předpjaté nosníky s vynechanou, popř. omezenou smykovou výztuží.

Příklady aplikací mimo tunely

Největší pole pro aplikaci drátkobetonu tvoří průmyslové podlahy. Desky ležící na ztuhnutém podloží působí jako desky na pružném podkladě. Při vzniku mikrotrhlin, popř. trhlin se zatížení přeneso do podloží a namáhání v desce se přerozdělí. Nedojde tedy k náhlému kolapsu. Přínosem vláknobetonu je též omezení tahových napětí od smršťování a snížení rizika vzniku trhlin. To vše za předpokladu dostatečného stupně vyztužení vláken. V praxi se lze setkat s případy desek vyztužených pouze cca 20 kg drátků. V takovém případě je význam vyztužení velmi diskutabilní, protože mohou vznikat otázky, jako například jak jsou drátky v desce skutečně rozděleny, jaký mají statický význam a jaká je jejich skutečná účinnost. Zkušenosti z některých měření obsahů drátků ukazují, že v takových deskách jsou oblasti, kde drátky nebyly nalezeny žádné. Omezení trhlin od smršťování lze dosáhnout i tak, že deska je ve vhodný okamžik rozřezána smršťovacími spárami na malé úseky (obvykle stačí cca 6x6 m) a při kvalitním ošetřování trhliny nemusejí trhliny vůbec vznikat.

Významná aplikace drátkobetonu byla realizována například při zakládání budov na Potsdamerplatz v Berlíně v polovině 90. let dvacátého století [5]. Zakládání budov až v hloubce 30 m se muselo realizovat pod hladinou podzemní vody. Snížení hladiny nebylo možné s ohledem na blízký park, kde by to znamenalo ohrožení vegetace. Proto byly navrženy základové desky z drátkobetonu, které bylo možné betonovat pod vodou. Založení bylo účelně a ekonomicky vyřešeno, neboť zcela odpadla náročná fáze vyztužování desek klasickou prutovou výztuží.

Zajímavé jsou i aplikace kombinující předpjatý beton a vláknobeton. Úspora lidské práce při výrobě klasické prutové výztuže je natolik ekonomicky zajímavá, že se hledá řešení, kdy předpjaté nosníky jsou vyztuženy drátky a uspořídá se smyková výztuž. Například experimenty na nosnících o délce 20 m byly odzkoušeny v Gentu [6].

Examples of applications with the exception of tunnels

The largest field for the application of steel fibre reinforced concrete is formed by industrial floors. Slabs lying on a compacted sub-grade act as slabs on an elastic foundation. When microcracks or cracks originate, the load is transferred to the sub-grade and the stress in the slab is redistributed. It means that no sudden collapse takes place. A contribution of fibre reinforced concrete in addition lies in the restriction of shrinkage-induced tensile stresses and reduction in the risk of the creation of cracks. All of that applies under the condition that the content of reinforcement with fibres is sufficient. In practice we encounter cases of slabs reinforced only by 20kg of steel fibres. In such a case the significance of the reinforcement is highly questionable because questions, for example how the steel fibres are really distributed in the slab, what their statical significance is and what their real effectiveness is, may originate. The restriction of cracks due to shrinkage can be achieved even by cutting the shrinkage joints dividing the slab into small segments (usually 6x6m is sufficient); if the quality of treating the concrete is good, cracks need not originate at all.

A significant application of steel fibre reinforced concrete was realised, for example, when the Potsdamerplatz buildings were being founded in the middle of the 1990s [5]. The foundation of the buildings at the depth of up to 30m had to be realised under the water table. The lowering of the water table was impossible with respect to a nearby park, where it would have meant a threat to vegetation. For that reason steel fibre reinforced concrete base plates allowing for casting concrete under water table were designed. The foundation was solved efficiently and economically with respect to the fact that the demanding phase of reinforcing the concrete base plates with classical steel bars was omitted.

Even the applications combining pre-stressed concrete and fibre reinforced concrete are interesting. Labour savings during the production of classical steel bar reinforcement is so economically interesting that a solution is searched for in which pre-stressed beams are reinforced with steel fibres and shear reinforcement is saved. For example, testing experiments on 20m long beams were conducted in Gent [6].

Applications to tunnel liners

Fibre reinforced shotcrete

Fibre reinforced concrete can be applied to tunnel liners in various ways. For primary linings during the construction of tunnels using the NATM, fibre reinforced shotcrete can replace shotcrete reinforced with welded mesh. Both steel or synthetic fibres can be used. The advantage over classically reinforced primary concrete lining presented in literature is the acceleration of the construction process because of the fact that the installation of welded mesh and lattice girders (BRE-TEX) is omitted. Other advantage lies in the homogeneity of the lining because no empty spaces – shadow profiles behind reinforcing rods – originate. By contrast, a certain problem originates regarding the determination of the correct thickness of the lining because of the fact that it is necessary to use only survey points and the natural visual guidance provided by the classical reinforcement is missing. In the case of the classically reinforced lining the welded mesh in addition helps to stabilise the shotcrete layer. When the welded mesh is not



Obr. 10 Pohled ve směru ražby, po obvodě jsou umístěny hydraulické válce opřené o hotovou část ostění

Fig. 10 A view in the direction of excavation; hydraulic cylinders installed around the TBM circumference are propping against the completed part of the lining

Aplikace na tunelová ostění

Stříkaný vláknobeton

Pro tunelová ostění lze vláknobeton aplikovat různým způsobem. Pro primární ostění při výstavbě tunelů pomocí NRTM může stříkaný vláknobeton nahradit stříkaný beton vyztužený sítěmi. Lze použít ocelová nebo i syntetická vlákna. Jako výhoda proti klasickému vyztuženému primárnímu ostění se uvádí zrychlení výstavby, protože odpadá instalace sítí a výztužných rámců (bretexů). Další výhodou je homogenita ostění, neboť při absenci ocelových sítí nevznikají volné prostory – stíny za výztužnými pruty. Naproti tomu vzniká určitý problém se stanovením správné tloušťky ostění, protože je třeba využívat pouze geodetických bodů a chybí přirozené vizuální vedení dané klasickou výztuží. U vyztuženého ostění ocelová síť dále pomáhá stabilizovat vrstvu stříkaného betonu. Pokud se síť nepoužije, je třeba omezit tloušťku vrstvy stříkaného betonu, aby nedošlo k jejímu odpadnutí. U nás se stříkaný vláknobeton zatím příliš neprosadil.

Stříkaný vláknobeton lze použít i na ostění definitivní. Zejména pokud je namáhání ostění menší, pak disperzní vláknová výztuž postačí pro zachycení napětí od mechanického namáhání. Stříkaný vláknobeton je pak vhodné z technologických důvodů kombinovat se stříkanou hydroizolací.

Prefabrikované tunelové ostění

Největší rozšíření, dnes také i u nás, získal drátkobeton aplikovaný na prefabrikované ostění při mechanizovaném tunelování [7]. Ostění tunelu je rozděleno na jednotlivé prstence délky 1–2 m (v závislosti na profilu tunelu). Každý prstenec pak sestává z několika segmentů, obvykle 3 až 12, 3 u maloprofilových štol a 12 u dvoupatrových dálničních tunelů. V ostění běžných tunelů se obvykle užívá 6 až 8 segmentů. Technologie ražby vyžaduje kruhový profil tunelu. Tomu odpovídá charakter namáhání ostění. Válec zatížený rovnoměrným dostředným tlakem je namáhán výhradně normálovou silou. Skutečné zatížení ostění horninovým prostředím není rovnoměrné, ale v mnohých případech se mu blíží. Zatížení hydrostatickým tlakem podzemní vody je ve větších hloubkách téměř rovnoměrné. Navíc je prstenec rozdělen na segmenty, jejichž spoje samy o sobě nepřenášejí ohybové momenty. Spoje mohou přenášet ohybový moment v případech střídání spár a vlivem tření mezi prstenci. Navíc šikmé hrany segmentů také přispívají k přenosu ohybu. I v takovém

applied, it is necessary to reduce the shotcrete layer thickness to prevent it from falling off. For the time being, fibre reinforced shotcrete has not been adopted too much in the Czech Republic.

Fibre reinforced shotcrete can be applied even to final liners. In particular where the stress in the lining is smaller, the dispersed fibre reinforcement is sufficient for retaining stresses induced by mechanical loading. It is recommendable for technological reasons to combine fibre reinforced shotcrete with spray-applied waterproofing.

Precast tunnel lining

The largest spreading, today also in the Czech Republic, has been recorded by steel fibre reinforced concrete applied to pre-cast (segmental) lining in the process of mechanised tunnelling [7]. The tunnel lining is divided into individual 1 – 2m long rings (depending on the tunnel profile). Each ring comprises of several segments, usually 3 to 12 (3 segments for small profile galleries and 12 for dual-stack motorway tunnels). The lining of common tunnels usually consists of 6 to 8 segments. The tunnelling technology requires a circular tunnel profile. The character of stressing the lining corresponds to this fact. The lining cylinder loaded by uniform concentric compression is loaded exclusively by normal forces. The actual loading of the lining by the ground environment is not uniform, but in many cases it approaches it. The hydrostatic pressure induced by groundwater is nearly uniform at greater depths. In addition, the ring is divided into segments the joints between which do not transfer bending moments. The joints can transfer a bending moment in the cases of staggered joints and due to the friction between the rings. In addition, the splayed edges of the segments also contribute to the transfer of bending. Even in such a case the flexural rigidity of the pre-cast lining is reduced (in comparison with a cast-in-situ lining with the identical thickness). For that reason the lining segments are loaded first of all by normal compression force and a relatively small bending moment.

Other significant loading acts on the lining segments in the direction of the longitudinal axis of the tunnel, where the finished lining acts as a support for the TBM during the excavation (see Fig. 10).

It means that the lining is loaded by two significant quantities:

- a normal force in the tunnel direction – during the course of the excavation;
- a normal force and a bending moment in the direction of the ring circumference – due to the effects of the ground environment and groundwater.

In addition, lining segments are stressed by partial loads during the course of the production, storage, handling and transportation. From the economic point of view, it is necessary to adopt such measures which prevent these loads from becoming crucial for structural designing of the lining structure.

The tunnel lining has to exhibit a sufficient bearing capacity, which means to meet the conditions of the 1st group of limit states as well as the conditions of the 2nd group of limit states, first of all the waterproofing capacity. Because the lining is not provided with any insulation, the waterproofing capacity is the most important criterion for the lining design.

Lining material

Whilst in the past the segments were manufactured even from cast iron, concrete is today used nearly exclusively. Concrete can be reinforced with classical steel bars or with

případě je ohybová tuhost prefabrikovaného ostění redukována (proti monolitickému ostění stejné tloušťky), a proto segmenty ostění jsou namáhány především tlakovou normálovou silou a relativně malým ohybovým momentem.

Další významné zatížení působí na segmenty ostění ve směru podélné osy tunelu, kdy hotové ostění působí jako opora štítů během ražby (obr. 10).

Ostění je tedy namáháno dvěma významnými veličinami:

- normálovou silou ve směru tunelu – během ražby;
- normálovou silou a ohybovým momentem ve směru obvodu prstence – vlivem účinků horninového prostředí a podzemí vody.

Dále jsou segmenty ostění namáhány dílčím zatížením během výroby, skladování, manipulace a dopravy. Z ekonomického hlediska je třeba přijmout taková opatření, aby tato zatížení nebyla rozhodující pro dimenzování konstrukce.

Ostění tunelu musí vykazovat dostatečnou únosnost – tedy splňovat podmínky 1. skupiny mezních stavů a rovněž i podmínky 2. skupiny mezních stavů, zejména vodonepropustnost. Jelikož ostění není opatřeno žádnou izolací, je vodonepropustnost nejvýznamnějším kritériem pro návrh ostění.

Materiál ostění

Zatímco v dřívějších dobách se segmenty ostění vyráběly i z litiny, dnes se využívá téměř výhradně beton. Beton lze vyztužovat klasickou prutovou (betonářskou) výztuží, nebo výztuží rozptýlenou ve formě drátků. Lze využívat i rozptýlenou výztuž z různých nekovových materiálů (tzv. makrovlákna), ale tyto materiály dosud nejsou příliš rozšířeny, mj. i pro nízkou tuhost materiálů makrovláken.

Segmenty vyztužené betonářskou výztuží vykazují vysokou únosnost (zejména v ohybu) závislou na stupni vyztužení. Část průřezu namáhaná tahem se porušuje mikrotrhlinami, které se s rostoucím zatížením soustřeďují do jednotlivých makrotrhlin. Hlavní makrotrhlina se dále rozevírá a při překročení limitní šířky se ostění stává propustným pro vodu.

Ohybová únosnost segmentů vyztužených rozptýlenou výztuží je limitována. Maximální množství drátků je omezeno technologickými vlivy, zejména možností včlenění vláken mezi zrna kameniva a procesem míchání betonové směsi. Při příliš velkém dávkování drátků (obvykle přes 50 kg/m³) může docházet ke shlukování vláken v tzv. ježky a vlastnosti betonu se pak zhoršují. Prvek namáhaný ohybem se porušuje sítí mikrotrhlin, které se postupně rozevírají, ale výztužné drátky do jisté úrovně namáhání zabraňují diskretizaci trhlin. Na rozdíl od železobetonu místo jedné trhliny vzniká řada trhlin drobných, které nedovolují pronikání vody. Při vyšším zatížení pak dojde k rozevření trhliny a poklesu únosnosti.

Segmentové ostění je poměrně štíhlý prvek, kdy tloušťka se v běžných případech tunelů pohybuje mezi 250 mm a 400 mm. Je-li předpokládána krycí vrstva 50 mm, což je pro prostředí v tunelu a v okolí tunelu hodnota běžná, a prvek tlustý 250 mm, vzniká jádro prvku sevřené výztuží o tloušťce pouhých 150 mm. Segment je tedy značně nehomogenní a při zatížení tlakem dochází na mezi únosnosti k delaminaci a odtržení krycí vrstvy.

Naopak prvek vyztužený rozptýlenou výztuží je homogenní a při tlakovém zatížení se poruší standardně příčným tahem. Provedené experimenty ukazují, že mezní únosnost v tlaku je u segmentů železobetonových a drátkobetonových téměř shodná. U drátkobetonových prvků lze pozorovat menší rozevření trhlin.

dispersed steel fibres. It is also possible to use fibres made of non-metallic materials (the so-called macro-synthetic fibres), but these materials have not been too much spread yet, beside other reasons for the low stiffness of the materials of the macro-synthetic fibres.

Segments reinforced with steel bars exhibit high bearing capacity (mainly in flexure) depending on the reinforcement content. A larger part of the cross-section stressed by tension is disturbed by microcracks, which proceed to concentrate themselves with the growing load into individual macrocracks. The main macrocrack further opens up and, when the crack width limit is exceeded, the lining becomes permeable to water.

The flexural capacity of segments reinforced with dispersed fibres is limited. The maximum content of fibres is limited by technological conditions, in particular by the possibility of incorporating the fibres among the aggregate grains, and by the concrete mixture mixing process. When the dosage of steel fibres is too high (usually over 50kg/m³), the fibres can bunch, forming the so-called “hedgehogs”, causing the deterioration of the concrete properties. An element stressed by flexural tension is damaged by a network of gradually opening microcracks, but the reinforcing steel fibres prevent to a certain extent the cracks from discretisation. As opposed to concrete reinforced with steel bars, a range of minor cracks develops which do not allow water permeation. When the loading increases, the crack opens up and the bearing capacity drops.

The segmental lining is a relatively thin element with the thickness varying between 250mm and 400mm in common cases of tunnels. If we assume the concrete cover 50mm thick (the value common for the environment inside the tunnel and in its surroundings) and the element 250mm thick, a core of the element clamped by the reinforcement a mere 150mm thick originates. The segment is therefore significantly inhomogeneous and the delamination and tearing of the cover layer occurs under the ultimate bearing capacity pressure.

Conversely, the element reinforced with dispersed fibres is homogeneous and gets damaged by compression in a standard way by transverse tension. The completed experiments show that the ultimate compression bearing capacity of steel-bars-reinforced segments and steel fibre reinforced segments is nearly identical. Smaller opening of cracks can be observed in the case of steel fibre reinforced concrete elements.

In comparison with steel-bar-reinforced concrete, the flexural capacity of steel fibre reinforced concrete is limited, but the ductility of the material is higher and, to a certain extent, it better resists penetration of water. Apart from the above-mentioned properties, the production of segments from concrete reinforced with dispersed fibres is technologically simpler because of the fact that the production and installation of reinforcement cages is omitted.

Experience with the construction of metro line “V.A”

The construction of the metro line “V.A” meant the first application of a TBM to tunnel construction in the Czech Republic. Despite the fact that the majority of metro tunnels were constructed using the ring method applying 1st generation segmental liners, the onset of the current segments was at an absolutely different level. Current segments are characterised by extraordinary precision of the manufacture (manufacturing tolerances are in the order of tenths of millimetre). Apart from the loading by the ground environment, the lining rings are loaded by significant thrust forces exerted by the

Drátkobeton oproti železobetonu má limitovanou ohybovou únosnost, ale materiál má větší duktilitu a do určité úrovně namáhání lépe vzdoruje průniku vody. Kromě uvedených vlastností je výroba segmentů z betonu vyztuženého rozptýlenou výztuží technologicky jednodušší, protože odpadá výroba a instalace armokoše.

Zkušenosti s výstavbou metra „V.A“

Výstavba linky „V.A“ pražského metra znamenala po dlouhé době první nasazení štítu pro výstavbu tunelu u nás. Ačkoli většina tunelů metra byla budována prstencovou metodou s využitím segmentového ostění 1. generace, nástup současných segmentů byl ve zcela jiné rovině. Současné segmenty se vyznačují mimořádnou přesností výroby (výrobní tolerance v řádu desetin milimetru), kromě zatížení horninovým prostředím na prstence působí značná tlačná síla stroje, a proto se využívá beton s vyšší pevností (C50/60). Problematika výroby byla u nás zcela nová, a při zavádění byli přizváni i zahraniční odborníci. Zkušenosti s prvním použitím ukázaly některé další problémy, které byly na další stavbě eliminovány.

Protože se jednalo o první užití segmentového ostění, navíc navrženého s poměrně malou tloušťkou (250 mm), byl použit osvědčený materiál železobeton. Výroba segmentů byla zvládnuta velmi dobře, nepotvrdila se obava z výroby zmetků během zavádění technologie výroby. I proces výstavby ostění lze hodnotit jako úspěšný. Největším problémem se ukázalo na řadě tunelů navržené, ale nepříliš vhodné členění segmentů v prstenci, kdy každý segment byl zatížen třemi dvojicemi lisů stroje, a tedy byl podepřen ve třech místech. Smontované ostění není tak tuhé, jak se očekávalo, během ražby dochází k nerovnoměrnému stlačování spár mezi prstenci, a to vede u staticky neurčitě podepřených segmentů (3 podpory) k ohybu segmentu v jeho střednicové ploše a někdy až ke vzniku trhlin. Trhlinami pak může pronikat voda do tunelu a je třeba je sanovat.

Realizační tým si byl vědom možnosti použít pro prefabrikované ostění drátkobeton. Během výstavby tunelu se proto již zabýval vývojem ostění z betonu vyztuženého výhradně rozptýlenou výztuží. Po zvládnutí technologie výroby drátkobetonu a odzkoušení vlastností na malých i velkých vzorcích byl v rámci výstavby metra zhotoven zkušební úsek délky 15 m, kde se prakticky ověřila výroba i montáž drátkobetonových segmentů. Zkušební úsek byl vyhodnocen jako úspěšný bez poruch, rovněž ani manipulace se segmenty nepřinášela problémy.

Zkušenosti s výstavbou železničního tunelu u Ejovic

Železniční tunel u Ejovic tvoří dvě jednokolejné tunelové trouby o průměru cca 9 m. Již v době podání nabídky se počítalo s využitím segmentů z drátkobetonu. Dosud realizovaný výzkum, částečně podporovaný i projektem CESTI, poskytoval řadu údajů a materiálových charakteristik, které bylo možné pro návrh ostění využít. Rovněž zkušenosti s výstavbou metra vedly k návrhu vhodněji uspořádaného prstence, kdy každý segment je zatížen lisu stroje jen ve dvou místech, je tedy staticky určitě podepřen a případné nerovnoměrné stlačení spár mezi prstenci nevede k ohybu segmentů, segment se pouze mírně natočí. Trhliny se v ostění téměř neobjevují.

Výroba segmentů probíhala nedaleko stavby a kamenivo, které je v Plzeňském kraji k dispozici, nedosahovalo takové kvality jako kamenivo používané pro stavbu metra v Praze. Tomu bylo zapotřebí přizpůsobit i návrh betonové směsi. Rovněž z technologických důvodů musely být použity drátky

machine. For that reason higher strength concrete (C50/60) is used. The manufacture problems were completely new in the Czech Republic and even foreign experts were invited when the manufacture was being introduced. The experience with the initial application showed some other problems, which were eliminated on the following construction site.

Because it was the first case of the application of segmental lining, which was in addition designed with relatively small thickness (250mm), well proven concrete reinforced with steel bars was used. The production of segments was coped with very well and the fear of producing spoiled pieces during the learning curve period did not come true. Even the process of the lining installation can be assessed as successful. The largest problem turned out to lie in the not too much advantageous division of the segments within the ring designed for many tunnels. Each segment was loaded by three couples of thrust cylinders installed on the machine, which means that it was supported in three places. The assembled lining is not so much rigid as expected. The joints between the rings are compressed unevenly. At the statically indeterminately supported segments (3 supports) it leads to bending of the segment on its plane and sometimes even to the origination of cracks. Water can penetrate through the cracks into the tunnel. They have to be repaired.

The realisation team was aware of the possibility of the application of steel fibre reinforced concrete to the lining. For that reason it dealt with the development of concrete reinforced exclusively with dispersed fibres. A 15m long testing section was carried out within the framework of the construction of metro after mastering the steel fibre reinforced concrete production technology and testing of the properties on small as well as large specimens. The production and installation of steel fibre reinforced concrete segments was practically verified on the testing section. The testing section was assessed as successful, without failures. Nor the handling of the segments brought about problems.

Experience with the construction of the railway tunnel near Ejovice

The railway tunnel near Ejovice consists of two single-track tunnel tubes ca 9m in diameter. The use of steel fibre reinforced concrete segments was taken into account already at the time of submitting the bids. The research realised until now, which is partially supported by the CESTI project, provided lots of data and material characteristics usable for the lining design. Even the experience with the construction of metro led to the design of a more suitably arranged ring, where each segment is loaded by the thrust cylinders of the machine only in two places, which means that it is supported statically determinately and contingent uneven compression of the joints between the rings does not lead to bending of the segments; the segment gets only slightly rotated. Cracks nearly do not appear in the lining.

The segments were produced near the construction site and the quality of the aggregates available in the Plzeň region did not achieve the quality of aggregates used for the construction of metro in Prague. The concrete mixture design had to be accommodated to this fact. It was also for technological reasons that 60mm long and 1mm in diameter steel fibres had to be used in contrast with the earlier tested steel fibres with the same length but with the diameter of 0.75mm. The number of the steel fibres in a volume unit was substantially reduced

délky 60 mm a $\varnothing$ 1 mm, na rozdíl od dříve testovaných stejně dlouhých drátků, ale s $\varnothing$ 0,75 mm. Počet drátků se přechodem na tlustší drátky v objemové jednotce podstatně zmenšil (cca na 56 %), a tím se omezily technologické problémy s homogenitou rozmístění drátků a přitom se podařilo směs navrhnout tak, aby byly splněny požadavky projektanta na tahové vlastnosti drátkobetonu.

Využití drátkobetonu pro segmentové ostění lze hodnotit jako velmi přínosné, a to jak z technologického hlediska – snazší výroba, tak z hlediska užité hodnoty – duktilnější materiál lépe zajišťující vodonepropustnost ostění.

Numerické modelování tunelového ostění

V obou případech realizovaných tunelů předcházela návrhu ostění podrobná numerická analýza. Spolehlivost analýzy je závislá na kvalitě vstupních údajů. Jednoduché úlohy typu posouzení únosnosti ohýbaného prvku lze řešit na základě normových postupů, neboť návrhová norma na betonové konstrukce (ČSN EN 1992-1-1) vyžaduje například vyloučit tahové působení betonu. Složitější úlohy, kde je nutné počítat i s tahovými vlastnostmi betonu, což je například i posouzení namáhání tlakem, vyžadují podrobnější vstupní údaje, mj. tahovou pevnost betonu a lomovou energii. Tyto veličiny je zapotřebí zjišťovat experimentálně pro konkrétní betonovou směs.

Po odladění betonové směsi z hlediska pevnostní třídy, odolnosti proti prostředí a zpracovatelnosti se vyrobí zkušební tělesa, na kterých se zjistí základní materiálové charakteristiky



Obr. 11 Vzorek železobetonového segmentu – porušení delaminací při simulovaném zatížení tlakem válců štítu

Fig. 11 A specimen of a classically reinforced concrete segment – failure by delamination during the simulated loading by the thrust of cylinders on the TBM

(ca to 56 per cent), thus the technological problems with the homogeneity of the dispersion of wire fibres were also reduced. In doing so, the mixture was successfully designed and designer's requirements for tensional properties of the steel fibre reinforced concrete were fulfilled.

The use of steel fibre reinforced concrete for segmental linings can be assessed as very contributing both from the aspect of technology – easier production, and the aspect of the utility value – the more ductile material better providing the waterproofing capacity of the lining.

Numerical modelling of tunnel linings

A detailed numerical analysis preceded the lining design in both cases of the realised tunnels. The analysis reliability is dependent on the quality of input data. Simple problems, such as assessing the bearing capacity of the element subjected to bending, can be solved on the basis of standard procedures because of the fact that the designing standard for concrete structures (CSN EN 1992-1-1) requires, for example, that the tensile action of concrete is excluded. More complicated problems where even the tensional properties of concrete have to be taken into consideration, for example the assessment of compressive stress, require more detailed input data, among others the tensile strength of concrete and the fracture energy. It is necessary to determine these quantities experimentally for a particular concrete mixture.

After the concrete mixture design is debugged from the aspects of the strength class, resistance to the environment and workability, testing specimens are produced on which the basic material characteristics including the modulus of elasticity, tensile strength and fracture energy are determined. These values form the input for the numerical analysis.

The numerical analysis using the Finite Element Method proceeds step by step with gradually growing loading or deformations. The stress in individual elements is determined in dependence on the stress-strain diagram. The origination and development of cracks is also taken into consideration. The segment is modelled as a spatial structure using 2D or 3D elements.

The analysis result lies in the determination of the origination and development of cracks. It is possible to determine the load acting on the segment at which a crack develops throughout the segment thickness (the waterproofing capacity is lost); in addition, the working diagram is determined for the lining (the dependence of the load on deformation) and its ultimate bearing capacity.

The entire above-mentioned procedure of obtaining material characteristics and the numerical analysis can be realised within the framework of designing the project for the determination of dimensions of structural elements. The dimensions have to be known already during the course of the project planning stage because it is necessary to produce segment moulds, determine the outer diameter of the TBM and many other equipment – for example for handling of the segments.

It is recommendable to carry out tests on large specimens (real segments) for typical crucial loading cases prior to the commencement of serial production. The great importance of the precise numerical analysis is confirmed by the fact that, after the commencement of the production, only marginal quantities can be modified on the basis of tests (minor changes in the concrete reinforcement or optimisation of the concrete formula).

In the case of the realised projects, numerical analyses were carried out using the ATENA programming system developed by Červenka Consulting limited liability company.



Obr. 12 Porušení drátkobetonového segmentu při simulovaném zatížení tlakem válců štítu

Fig. 12 Failure of steel fibre reinforced concrete segment during the simulated loading by the thrust of cylinders on the TBM

včetně modulu pružnosti, tahové pevnosti a lomové energie. Tyto hodnoty jsou vstupem pro numerickou analýzu.

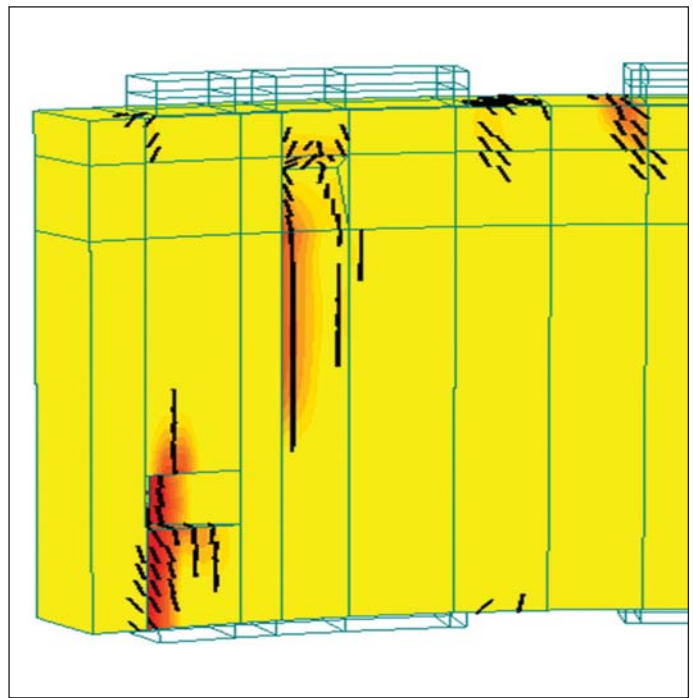
Numerická analýza metodou konečných prvků probíhá po jednotlivých krocích s postupně narůstajícím zatížením nebo deformací. Napětí v jednotlivých prvcích se stanovuje v závislosti na pracovním diagramu, rovněž je zohledněn vznik a rozvoj trhlin. Segment se modeluje jako prostorová konstrukce s využitím 2D nebo 3D prvků.

Výsledkem analýzy je stanovení vzniku a rozvoje trhlin, lze určit, při jakém zatížení segmentu vznikne trhlinka přes celou tloušťku segmentu (ztratí se vodonepropustnost), dále se stanoví pracovní diagram (závislost zatížení na deformaci) ostění a jeho mezní únosnost.

Celý uvedený postup získání materiálových charakteristik a numerickou analýzu lze realizovat v rámci projektování stavby ke stanovení dimenzí konstrukčních prvků. Během přípravy stavby již musí být dimenze známy, neboť je zapotřebí vyrobit formy na segmenty, stanovit vnější průměr stroje a řadu dalších zařízení – například pro manipulaci se segmenty.

Před zahájením sériové výroby segmentů je vhodné realizovat zkoušky na velkých vzorcích (skutečných segmentech) pro typická rozhodující zatížení. Velký význam přesné numerické analýzy potvrzuje fakt, že po zahájení výroby lze na základě zkoušek modifikovat jen podružné veličiny – drobné úpravy ve výztuži nebo optimalizaci receptury betonu.

V případě realizovaných projektů byly provedeny numerické analýzy pomocí programového systému ATENA vyvinutého firmou Červenka Consulting. Byly provedeny analýzy různých zatěžovacích stavů na segmentech připravovaných pro tunel metra [8] i pro tunel Ejpvovice. Dále se analyzovaly segmenty vyztužené klasickou výztuží i segmenty vyztužené drátkou. Ve všech případech byla dosažena přiměřená shoda numerických výpočtů a experimentů. Obr. 11 ukazuje vzorek železobetonového segmentu porušeného simulovaným tlakem hydraulických válců při ražbě. Je vidět, že došlo k rozvrstvení segmentu (delaminaci) v místě výztuže. Obr. 12 pak ukazuje vzorek drátkobetonového segmentu po podobném zatěžování, kde došlo k porušení příčným tahem. Numerický model použitý v programu ATENA porušení a vývoj trhlin předpověděl velmi výstižně (obr. 13). U segmentů použitých na trase metra A byly segmenty zkoušeny na ohyb v ploše segmentu (stěnový ohyb). Porušení hlavní trhlínou

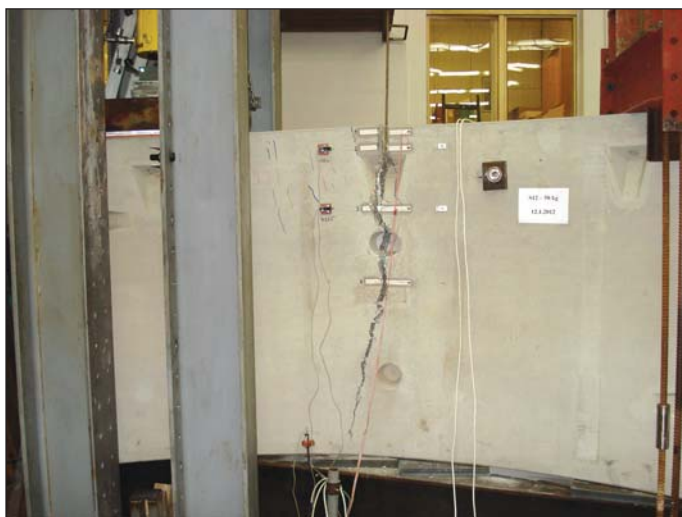


Obr. 13 Numerická simulace trhlin drátkobetonového segmentu při zatížení tlakem válců štítu

Fig. 13 Numerical simulation of cracks in the steel fibre reinforced concrete caused by the thrust of cylinders on the TBM

Analyses of various loading cases were carried out on segments being prepared for the metro tunnel [8] and for the Ejpvovice tunnel. Segments reinforced with classical steel bars and steel fibre reinforced segments were in addition analysed. Reasonable agreement between numerical calculations and experiments was achieved in all cases. Fig. 11 shows a specimen of a classically reinforced concrete segment damaged during the excavation by the simulated thrust of hydraulic cylinders. It can be seen that stratification (delamination) occurred in the location of the reinforcement. Fig. 12 presents a specimen of a steel fibre reinforced concrete segment after similar loading, where the segment was disturbed by transverse tension. The numerical model used in the ATENA program predicted the disturbance and development of cracks very aptly (see Fig. 13). Segments used on the metro Line A were subjected to bending in segment plane tests. The damage caused by the main crack and minor cracks is obvious from Fig. 14. The results of the numerical simulation are presented in Fig. 15. The correctly pictured character of cracks is again obvious. Other simulations were carried out even for the Ejpvovice tunnel. The tensile strength test of a fragment of the segment is presented in Fig. 16.

The above-mentioned designing procedure turned out to be very suitable for revealing the risks and local damaging of the segments. On the other hand, significant disagreement exists in the aptness of modelling of individual segments and the aptness of the determination of the loads and responses of the ground massif. It is advisable to use the global confidence coefficient rather than partial confidence coefficients for the determination of the safety (ultimate limit states) in the cases of non-linear methods. It would be necessary in this area to determine rules for designing underground structures so that the methodology for the determination of the structural reliability approximates the methodology applied to other structures.



Obr. 14 Porušený segment při zatížení ohybem rovnoběžně s plochou segmentu (stěnové působení)

Fig. 14 A segment damaged during flexural loading acting in parallel with the segment plane

a podružnými trhlinami je patrné z obr. 14. Výsledky numerické simulace ukazuje obr. 15. Opět je patrný správně vystižený charakter trhlin. Další simulace byly provedeny i pro tunel v Ejovicích. Ohybovou zkoušku fragmentu segmentu ukazuje obr. 16.

Uvedený postup návrhu se ukázal jako velmi vhodný pro odhalení rizika i lokálních porušení segmentů. Na druhou stranu se ukázal značný rozpor ve výstižnosti modelování jednotlivých segmentů a výstižnosti při stanovení zatížení a reakcí horninového masivu. Pro stanovení bezpečnosti (mezní stavy únosnosti) je v případě nelineárních metod třeba používat spíše globální součinitel spolehlivosti než dílčí součinitele spolehlivosti. V této oblasti by bylo třeba stanovit pravidla pro navrhování podzemních konstrukcí tak, aby se metodika stanovení spolehlivosti konstrukce přiblížila metodice užívané u ostatních stavebních konstrukcí.

8. PERSPEKTIVY DO BUDOUCNA

Zkušenosti z realizovaných konstrukcí ukazují, že vláknobeton je perspektivní materiál. Rostoucí cena lidské práce vede ke snaze technologii výstavby zjednodušit, což vláknobeton do jisté míry umožňuje. Dále se vyvíjejí nové kompozitní materiály (např. ultravysokohodnotný beton – UHPC, kde použití vláken je podmínkou pro omezení křehkosti tohoto vysokopevnostního materiálu). Vývoj nekovových vláken jde též rychle vpřed. Nekovová vlákna nepodléhají korozi, což je zejména podstatné z hlediska vzhledu konstrukce a její trvanlivosti, kdy mohou vlákna vystupovat až k povrchu. Vláknová výztuž, která je rozptýlena v celém objemu konstrukčního prvku, je aktivní i v oblasti krycí vrstvy, kde u klasické železobetonové výztuže není vyztužení žádné. To je podstatné například kolem hran tunelových segmentů, protože se tím omezují lokální poškození.

Rozšiřování aplikací vláknobetonu vyžaduje vytvoření spolehlivých

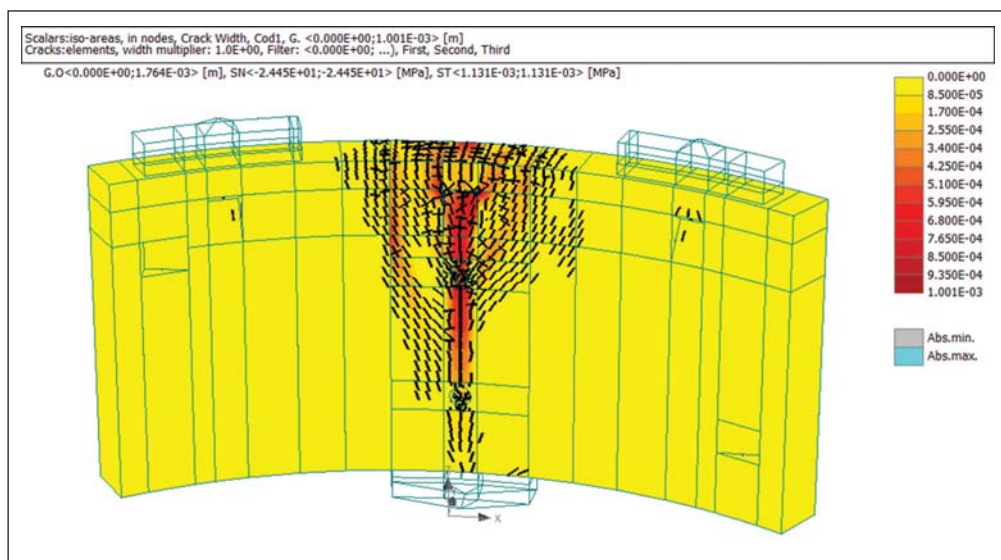
PROSPECTS FOR THE FUTURE

Experience from realised structures suggests that fibre reinforced concrete is a perspective material. The increasing price of human work leads to efforts to simplify the construction technology, which is allowed for to a certain extent by fibre reinforced concrete. In addition, new composite materials are being developed (for example ultra high performance concrete – UHPC, where the application of fibres is a condition for diminishing the brittle character of this high-strength material). The development of non-metallic fibres also goes on very fast. Non-metallic fibres are not subject to corrosion, which is mainly significant from the aspect of the structure appearance and its durability because the fibres may rise up to the surface. The fibre reinforcement, which is dispersed throughout the whole volume of the structural element is active even in the area of the concrete cover layer, where there is no reinforcement in the case of the classical steel bar reinforcement. This fact is significant for example in the vicinity of edges of the tunnel lining segments because the fibres reduce local damaging.

The expansion of the application of fibre reinforced concrete requires the development of reliable and not too complicated methods of assessing fibre reinforced concrete structures. It is necessary to respect the significant statistical scatter of properties of elements containing fibre reinforcement and to determine suitable reliability factors. Documents modifying design procedures for common fibre reinforced concrete structures (e.g. Model code 2010 [2]) and for the UHPC type high-performance composites [9], [10] are currently originating.

9. CONCLUSION

Fibre reinforced concrete turns out to be a material suitable for applications to tunnel construction engineering. The interaction between ground massif and a fibre reinforced concrete lining provides a reliable and economic support system. The action of fibre reinforced concrete depends on the quality and amount of the fibres used. Because the variability of fibre reinforced concrete is very wide, the lining design procedure based on material values tested on the particular fibre reinforced concrete which was developed for the realisation turns out to be the most suitable. The numerical methods provide a tool suitable for assessing the state of the lining stress and deformations. The space for



Obr. 15 Výsledky numerické simulace vzorku podle obr. 14

Fig. 15 Results of the numerical simulation of the specimen according to Fig. 14

a ne příliš složitých metod posuzování vláknobetonových konstrukcí. Je třeba respektovat značný statistický rozptyl vlastností prvků s rozptýlenou výztuží a stanovit vhodné spolehlivostní faktory. V současné době vznikají dokumenty upravující návrhové postupy jak pro běžné vláknobetonové konstrukce (např. Model code 2010 [2]), tak i pro vysokohodnotné kompozity typu UHPC [9], [10].

9. ZÁVĚR

Vláknobeton se ukazuje jako vhodný materiál pro aplikace v tunelovém stavitelství. Interakce horninového masivu a vláknobetonového ostění poskytuje spolehlivý a ekonomický nosný systém. Působení vláknobetonu závisí na kvalitě a množství použitých vláken. Protože variabilita vláknobetonu je velmi široká, ukazuje se jako nejvhodnější postup při návrhu ostění vycházet z materiálových hodnot odzkoušených na konkrétním vláknobetonu, který byl pro realizaci vyvinut. Numerické metody poskytují vhodný nástroj pro posuzování napjatosti a deformací ostění. Prostor pro další vývoj lze vidět ve vývoji výstižnějších materiálových modelů pro vláknobeton. Podobně jako u ostatních stavebních konstrukcí o vhodnosti konkrétních řešení rozhoduje uvážlivý inženýrský přístup projektanta, který by měl být schopen zhodnotit význam jednotlivých návrhových parametrů a navrhnout správnou koncepci řešení. Následně pak o úspěšnosti stavby rozhoduje návrh vhodných konstrukčních detailů.

Poděkování:

Článek obsahuje některé výsledky získané při řešení projektu CESTI (projekt TAČR č. TE01020168) a projektu č. 16-04454S podporovaného GAČR. Obě podpory jsou velmi oceňovány.

prof. Ing. Jan L. Vítek, CSc., FEng.,
vitek@metrostav.cz,

Metrostav a.s. a Stavební fakulta ČVUT,
Dr. Ing. Petr Vítek, petr.vitek@metrostav.cz,
Metrostav a.s.

Recenzovali **Reviewed:** Ing. Karel Rössler, Ph.D.
Ing. Robert Coufal, Ph.D.



Obr. 16 Ohybová zkouška části segmentu z tunelu Ejovice

Fig. 16 Bending test on a part of the segment from the Ejovice tunnel

further development can be seen in the development of more apt material models for fibre reinforced concrete. As with other building structures, the suitability of particular solutions is decided by judicious engineering attitude of the designer, who should be able to assess the significance of individual design parameters and design a correct concept for the solution. Subsequently, the success of the construction is decided by the design of suitable structural details.

Acknowledgements:

The paper contains some results obtained when solving the CESTI project (supported by the Technological Agency of the Czech Republic (TAČR) project No. TE01020168) and the project No.16-04454S supported by the Czech Science Foundation (GAČR). The supports are highly appreciated.

prof. Ing. Jan L. Vítek, CSc., FEng.,
vitek@metrostav.cz,

Metrostav, a.s. a Stavební fakulta ČVUT,
Dr. Ing. Petr Vítek, petr.vitek@metrostav.cz,
Metrostav a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Deutsche Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) Richtlinie Stahlfaserbeton. Beuth Verlag, Berlin, März 2010
- [2] fib Model Code for concrete structures 2010. Ernst und Sohn, 2013
- [3] Vítek, J. L., Smiřinský, S., Veselý, P. Fibres effect in SFRC. Proc. of the 11th Central European Congress on Concrete Engineering CCC, Austrian Concrete Society, Hainburg, Oct. 1-2, 2015
- [4] Vítek, P., Staňková, Z. Beton s rozptýlenou ocelovou výztuží pro tunelové konstrukce. Sborník konference Betonářské dny 2014, ČBS, 26.-27. 11. 2014
- [5] Falkner, H., Henke, V. Steel fibre concrete for underwater slabs at Potsdamer Platz. Structural Engineering International, 1997, no. 4, 238-241
- [6] Soetens, T., Matthys, S. Shear design of full-scale prestressed SFRC girders. fib Bulletin no. 79, Fibre reinforced concrete: From design to structural applications. fib, May 2016, 151-160
- [7] Hansel, D., Guirguis, P. Steel fibre segmental linings: State of the art and completed projects. Tunnel 1/2011, 14-24
- [8] Sajdlová, T., Pukl, R. Optimization of input parameters for material modelling of fibre reinforced concrete and application to the numerical simulation of tunnel lining. fib Bulletin no. 79, Fibre reinforced concrete: From design to structural applications. fib, May 2016, 353-362
- [9] Fehling, E., Schmidt, M., Walraven, J., Leutbecher, T., Froehlich, S. Betonkalender Ultra-High Performance Concrete UHPC: Fundamentals, Design, Examples. Ernst und Sohn GmbH and Co. KG. 2014
- [10] NF P 18-710 National addition to Eurocode 2 – Design of concrete structures: specific rules for Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC), AFNOR, April 2016

PROBLEMATIKA VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ BĚHEM REALIZACE PODZEMNÍCH STAVEB

PROBLEMS OF INTERNAL ENVIRONMENT DURING REALISATION OF UNDERGROUND CONSTRUCTION

JAN KLEČKA, JAROSLAV SYNEK

ABSTRAKT

Článek poukazuje na možné obtíže spojené s definováním a dosahováním vhodného vnitřního prostředí v podzemních stavbách během realizace a před zahájením předpokládaného provozu stavby. Popisuje vliv okolního klimatu na vnitřní prostředí (teplotu, relativní vlhkost a teplotu rosného bodu) podzemní stavby na základě analýzy chování vnitřního prostředí podzemní stavby v letním období. Zachycuje význam řízeného větrání, jeho vliv na změny vnitřního prostředí, obsahuje komplexní stavebně-fyzikální analýzu včetně naměřených povrchových teplot obalových konstrukcí tunelu s využitím termovizní observace v reálném čase a prostoru konkrétní podzemní stavby.

ABSTRACT

The paper points out the potential difficulties associated with defining and achieving suitable internal environment in underground structures during the course of their realisation and before the expected placing them into service. It describes the influence of surrounding climate on the internal environment (temperature, relative humidity and dew point temperature) inside an underground structure on the basis of an analysis of the behaviour of the internal environment inside an underground structure in summer. It describes the importance of controlled ventilation, its influence on changes in the internal environment, contains a comprehensive construction and physical analysis including surface temperatures of structures enveloping the tunnel measured using thermal imaging cameras in real time and the space of a particular underground structure.

ÚVOD

V souvislosti s dokončováním, předáváním a hodnocením jakosti rozsáhlých tunelových komplexů se často objevují informace o nenaplnění požadavků na stanovenou kvalitu, lépe jakost vnitřního prostředí podzemní stavby (jakost hodnotí předem určené parametry stanovenými, ověřenými způsoby a osobami; naproti tomu kvalitu hodnotí kdokoli podle libovolných kritérií a postupů). Požadavky jakosti na vnitřní prostředí podzemních staveb nebývají obecně známy, možnosti jejich naplnění jsou proto málo popsány. Parametry vnitřního prostředí ve stavbě se při realizaci významně liší od provozního stavu, kdy jsou v činnosti potřebná technologická zařízení zajišťující řízení vnitřních podmínek větráním, případně i vyhříváním, a stavba je provozována v předpokládaném běžném provozním režimu a vystavena předpokládaným namáháním. Stav vnitřního prostředí bývá při provozu aktivně řízen, jeho parametry bývají podrobně sledovány, stejně jako pravidla a zákonitosti řízení těchto parametrů.

Naproti tomu stav vnitřního prostředí při realizaci podzemní stavby je velmi málo prozkoumanou částí podmínek (požadavků) návrhu i provádění stavby, stejně jako znalost chování vnitřního prostředí a možnosti jeho ovlivnění. Literatura k tomuto tématu je velmi kusá. Dosud publikované informace o vnitřním prostředí a jeho chování při realizaci svědčí o tom, že znalost této problematiky nezbytně pro technické řízení a vedení projektu i realizace je nedostatečná a nebývá jí věnována potřebná pozornost. Tento nedostatek informací pak zkresluje představy o možnostech jak vnitřní prostředí ovlivňovat k dosažení potřebných parametrů.

Při zjištění nevhodných parametrů prostředí při stavbě (vlhkost, teplota) a hledání způsobů jak parametry zlepšit během stavby, především při montážích technologického vybavení, byla na základě sledování parametrů prostředí stanovena hypotéza, jejíž

INTRODUCTION

It is a frequent case in the context of construction conclusion, handing over and assessment of quality of large complexes of tunnels that information appears regarding unfulfilled requirements for the prescribed quality, better said the quality of the internal environment inside the underground structure (quality assessment assesses pre-determined parameters using prescribed and verified methods and persons; by contrast, the quality itself is assessed by anybody, in accordance with arbitrary criteria and procedures). Quality requirements for the internal environment inside underground structures are usually not generally known and the possibilities of meeting them are therefore poorly described. Parameters of an internal environment inside a structure during the course of the realisation significantly differ from parameters during the operating state, where all technical equipment securing the management of internal conditions by means of ventilation, or even heating, is in operation and the structure is operated in the planned common operating regime and is exposed to anticipated stresses. The condition of the internal environment is usually actively managed during the operation; its parameters are usually observed in detail, as well as the rules of managing the parameters and natural relations between them.

By contrast, the condition of the internal environment during the course of the realisation of an underground structure and the knowledge of the internal environment behaviour and the possibility of influencing it, are very little explored parts of the conditions (requirements) for the design and execution of the construction. Literature on this theme is very scarce. Information about internal environment and its behaviour during the realisation that has been published so far indicates the fact that the knowledge necessary for technical managing a design and realisation is insufficient and usually is not paid the necessary attention. This lack of information distorts the ideas of the possibilities of directing the internal environment toward achieving the necessary parameters.

platnost byla následně ověřována monitoringem vnitřního a vnějšího klimatického prostředí tunelu, zkoumáním vlivu řízeného větrání v nedokončené a neprovozované stavbě.

Závislost vnitřního prostředí rozsáhlých podzemních inženýrských staveb (především vysoká vnitřní vlhkost a nebezpečí kondenzace zvyšující vlhkost konstrukcí i zabudovaných zařízení) na prostředí vnějším, se projevuje až při určité velikosti a konfiguraci stavby. Souvisí především s rozsahem, velikostí, uspořádáním, počtem a polohou vjezdových a výjezdových ramp, se sklonovými a výškovými parametry tunelových trub a také s umístěním celé výstavby v zastavěném nebo nezastavěném území.

V článku uvedené konkrétní zjištěné a naměřené parametry vyplývají ze zkušenosti zhotovitele stavební části při realizaci tunelového komplexu Blanka.

CÍL PŘÍSPĚVKU

Cílem příspěvku je shrnout zjištěné informace, formulovat jejich souvislosti a možnosti ovlivnění nepříznivých podmínek k využití v dalších obdobných projektech. Doplní informace o vlivu vnějšího prostředí na vnitřní prostředí stavby, které by měly být jedním z podkladů při stanovení vlastností (parametrů) vnitřního prostředí, především relativní vlhkosti a teploty vzduchu, a to nejen při vlastní výstavbě, ale především při montáži technologických zařízení. Získané poznatky jsou využitelné i v nauce o vnitřním prostředí podzemních staveb ke komplexnímu poznání problematiky.

Příspěvek formuluje otázky vztahující se k provádění rozsáhlých podzemních staveb, kdy vlivy a zákonitosti chování v nedokončeném stavu jsou jen málo známy a kvantifikovány. Rozsáhlé neuzavřené stavby zasahující široká území mají vnitřní prostředí s vlastní dynamikou vývoje a jsou z principu zcela závislé na chování vnějšího klimatu v místě stavby. Pokud má projekt udržet ekonomickou přijatelnost, je nutné od počátku návrhu postupu prací akceptovat existující omezení vnějšími klimatickými podmínkami jako okrajové podmínky zadání s vědomím, že není v moci technického řešení ani zhotovitele nepříznivé vlivy klimatu a jejich projevy zcela potlačit. Lze je jen v určité míře omezit, a to teprve tehdy, kdy jsou k dispozici příslušná technologická zařízení (buď finální, nebo dočasná).

OKRAJOVÉ PODMÍNKY PROJEKTU

Vnější prostředí

Rozměrné podzemní komplexy se obvykle nacházejí v hustě zastavěných oblastech rozsáhlých měst, jejichž klimatické podmínky jsou urbanizací dále negativně ovlivněny zvyšováním teplot. Podélné vedení tras takových podzemních staveb se často tvoří tzv. sifony, snížené polohy v trase oproti vstupním částem, portálům. Tato snížená místa při absenci účinného umělého provětrávání se gravitačně plní těžším, vlhkým vzduchem tvořícím následně překážku přirozenému proudění vzduchu stavbou.

České technické normy, sloužící jako východisko pro návrh i hodnocení parametrů uvažované podzemní stavby, jako okrajové klimatické podmínky stanovovaly v době projektu pro zimní období teplotu $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$, pro letní období teplotu $+32\text{ }^{\circ}\text{C}$ a entalpii 56 kJ/kg suchého vzduchu. Aktuálně platná ČSN 12 7010 ve znění Z1 již posun klimatu reflektuje mírným zvýšením maximální teploty a především zvýšením nárůstem entalpie v extrému až na 75 kJ/kg suchého vzduchu.

Vnitřní prostředí

Vnitřní prostředí podzemní stavby je při realizaci ovlivňováno klimatickými a místními podmínkami místa stavby a způsobem provádění (technologemi výstavby) se všemi negativními vlivy, především masivními mokrymi procesy při výstavbě, vlivy podzemní

A hypothesis was established on the basis of monitoring the parameters of the environment when unsuitable parameters of the environment were detected during the course of the construction (humidity, temperature) and methods of improving the parameters during the construction, first of all during the assembly of technical equipment of the tunnel, were sought. The validity of the hypothesis was subsequently verified by the monitoring of the internal and external climatic environment inside the tunnel, examining the influence of controlled ventilation in an unfinished and non-operated structure.

The dependence of the internal environment inside extensive underground engineering structures (mainly the high internal humidity and the danger of condensation increasing the internal moisture of structures and built-in structures) on external environment manifests itself only in the case of a certain size and configuration of the structure. It is connected, first of all, with the extent, size, configuration, quantity and location of exit and entrance ramps, the gradient and the height conditions of tunnel tubes and also with the location of the whole construction project in built-up or unbuilt areas.

The particular determined and measured parameters presented in the paper follow from the experience of the civils contractor during the realisation of the Blanka complex of tunnels.

OBJECTIVE OF THE PAPER

The objective of the paper is to summarise the found pieces of information, formulate their connections and possibilities of influencing unfavourable conditions to be applied to other similar projects. The paper complements the information about the influence of external environment on internal environment inside a structure, which should be one of the sources for the determination of the internal environment properties (parameters), first of all the relative humidity and temperature of air, not only during the course of the construction but, first and foremost, during the installation of technical equipment of a tunnel. The obtained knowledge is applicable even to the teaching about internal environment inside underground structures for comprehensive understanding of the issue.

The paper formulates questions relating to the construction of large underground structures, where the effects and natural relations in the behaviour in an unfinished construction condition are insufficiently known and quantified. Large unclosed structures extending into wide areas have got internal environments having their own dynamics of development, which are in principle completely independent of the behaviour of the external climate existing in the building site location. If the project is to maintain economic acceptability, it is necessary from the beginning of designing the construction process to accept existing limitations due to climatic conditions as boundary conditions of the problem with the knowledge that the complete suppression of unfavourable effects and manifestations of the climate is not in the power of either the technical solution or the contractor. It is only possible to restrict them to a certain extent, but under the condition that the respective units of the technical equipment of the structure (either final or temporary) are available.

PROJECT BOUNDARY CONDITIONS

External environment

Large underground complexes are usually located in densely developed areas of large cities, the climatic conditions of which are further negatively affected by temperatures rising due to urbanisation. The vertical alignment of such underground structures often forms the so-called siphons, i.e. locations on the route depressed in comparison with entrance parts, the portals. In the absence of effective artificial ventilation, these depressed locations are filled with heavier humid air, forming subsequently an obstacle to the natural flow of air along the structure.

vody a jejími průsaky do nedokončené stavby, možným vnikáním povrchových vod neuzavřenými vstupy a také projevy klimatických vlivů, kondenzací vzdušné vlhkosti na chladných konstrukcích. Vnitřní prostředí podzemních staveb bylo vždy považováno za mokré se stékající, anebo i stříkající vodou.

Průběžně s vývojem neustále roste podíl technologických prvků a zařízení elektrotechnického charakteru i v podzemních stavbách. Pro montáž i provoz těchto zařízení mohou být uplatňovány zvýšené požadavky na ochranu proti vlhkosti a vodě, tedy na vnitřní prostředí ve stavbě.

Organizace výstavby rozsáhlých podzemních staveb v zájmu požadavku krátkého termínu uvedení do provozu vyžaduje souběh stavebních, montážních prací a zkušebních činností, které se týkají technologických, elektrotechnických zařízení a vybavení stavby. Při obecné akceptaci požadavků na prostředí při elektromontážích souběžných se stavebními pracemi pak mohou vznikat problémy s naplněním parametrů vnitřního prostředí stavby.

Proto je zcela nezbytné při přípravě návrhu i realizace se velmi podrobně zabývat specifikací montážních podmínek ve vztahu k podmínkám stavby, postupu stavebních prací a celkové rozestavenosti (propojení a otevření vnitřních prostor, větrání při stavbě, ochraně proti vnějším klimatickým vlivům, např. možnému zaplavení apod.). Vyžadované parametry pro montáže zařízení musí respektovat možnosti prostředí stavby. Tuto skutečnost si musí uvědomit především objednatel stavby, investor, který stanovenými požadavky řídí kvalitu stavby i realizační postupy. Na základě jeho požadavků projektant připravuje technické řešení, projektovou dokumentaci, jako výchozí podklad pro stanovení a hodnocení jakosti, na základě jeho požadavků zároveň zhotovitel stanovuje postup a způsob realizace a především cenu prací.

Z hlediska reálného vnitřního prostředí v rozestavené podzemní stavbě se jeví jako nezbytné vždy vyžadovat stupeň krytí, odolnost elektrických zařízení proti vniknutí cizího tělesa a kapaliny (dle EN 60529), dotyku jakoukoliv pomůckou, vniknutí prachu a chráněné proti stříkající vodě ve všech úhlech.

NÁROKY NA NASTAVENÍ POŽADAVKŮ JAKOSTI ROZSÁHLÉ STAVBY PŘI REALIZACI

Pokud jsou technické požadavky stanoveny správně, jsou splněny předpoklady pro realizaci s požadovanou jakostí. Pokud však není specifikací požadavků věnována ze strany objednatele a dalších účastníků výstavby potřebná pozornost, může se dosažení stanovené jakosti stát velkým, až nerealizovatelným problémem. V této souvislosti je nutné konstatovat, že této skutečnosti si obecně objednatelé, zpracovatelé projektové dokumentace i dodavatelé nejsou dostatečně vědomi a definici požadavků, resp. jejich uplatnění, věnují malou pozornost, ačkoliv obecné očekávání výsledné jakosti je vysoké. Dosažení požadované jakosti závisí i na naplnění organizačních předpokladů v časovém plánu stavby (dodržování technologických přestávek).

Organizační zvládnutí projektové přípravy i postupu realizace je mimořádně důležité, zvláště pokud je dodávka výstavbového projektu rozdělena mezi více dodavatelů. Pak je nezbytné stanovit milníky pro předávání rozpracovaného díla a jejich faktický obsah (přejímané práce a jejich vyžadované parametry při předání). Požadavky ale musí být reálné v kontextu postupu a možností stavby. Organizace objednatele (investora) rozsáhlé stavby musí být připravena řídit přípravu a realizaci, adekvátně reagovat na vývoj výstavbového projektu ve všech jeho složitostech při respektování jeho cílů.

VLIV VNĚJŠÍHO KLIMATU NA PODZEMNÍ STAVBU

Podzemní stavba komunikačního charakteru bývá trvale otevřená vůči vnějšmu klimatu a prostředí otevřenými portály, kterých

Czech technical standards, serving as a basis for the design and assessment of parameters of the underground structure under consideration, determined the temperature of -13°C and $+32^{\circ}\text{C}$ and the enthalpy of 56kJ/kg of dry air during the work on the design as the boundary condition for the winter season and the summer season, respectively. The currently valid ČSN 12 7010, as amended by Z1, already reflects the shifting of climate by a moderate increase in the maximum temperature and, first of all, by an increase in the enthalpy in extreme to up to 75kJ/kg of dry air.

Internal environment

The internal environment inside a structure is affected during the construction process by climatic and local conditions at the construction site and the construction method (construction techniques) with all negative effects, mainly the massive wet processes during the construction, the effects of groundwater and its seepage into the unfinished structure, the possible intrusion of surface water through unclosed openings and also by the manifestations of climatic effects, the condensation of air humidity on cold structures. The internal environment inside underground structures has always been considered as wet with down-flowing or even jetting-out water.

The proportion of technology elements and electrotechnical-character facilities grows even in underground structures. Increased requirements for the protection against moisture and water, i.e. requirements for the internal environment inside the structure, can be applied to the installation and operation of this equipment.

The organisation of the construction of large underground structures requires, in the interest of the requirement for a short term of bringing the structure into service, that building, installation and testing operations concerning technology-related electrotechnical equipment of the structure are carried out in parallel. The requirements for the environment during electrical installations carried out concurrently with civil engineering work are generally accepted. As a result, problems with meeting the parameters of the internal environment inside the structure may arise.

For that reason it is absolutely necessary during the preparation of the design and the realisation that the specification of installation conditions in relation to the construction conditions, the construction work procedure and the state of the construction completion (the interconnection and opening of internal spaces, ventilation during the construction, protection against external climatic effects, e.g. possible inundation, etc.). The parameters required for the installation of the equipment have to respect the possibilities of the construction environment. This fact must be acknowledged first of all by the project owner, the client, who manages the quality of the works and the realisation procedure through prescribed requirements. The designer prepares the technical solution and design documentation as a source document for the determination and assessment of quality on the basis of its requirements. The contractor also determines the procedures and methods of the realisation and, above all, the cost of the works on the basis of its requirements.

In terms of the realistic internal environment inside an underground structure under construction, it appears necessary always to require the degree of protection, the resistance to intrusion of a foreign body and liquids (according to EN 60529), resistance to touching with any tool, to intrusion of dust and protection against water splashing at any angle.

REQUIREMENTS FOR SETTING QUALITY FOR A LARGE CONSTRUCTION PROJECT DURING THE REALISATION

If technical requirements are set correctly, the conditions for the realisation with the required quality are met. However, if the specification of requirements is not paid due attention from the side of the client and other parties involved in the construction, reaching

bývá podle rozsahu stavby často i více než deset. Portály umožňují nepřetržitý vliv vnějšího klimatu na vnitřní konstrukce stavby, namáhání klimatem především za horkých letních měsíců, kdy do podzemní stavby trvale vniká horký vzduch s vysokým obsahem vlhkosti, ale podobně i v zimních měsících namáhání mrazem.

Vliv letního klimatu s vysokým obsahem vzdušné vlhkosti se projevuje v podzemní stavbě povrchovou kondenzací, která může být zaměněna za průsaky vody obalovými konstrukcemi stavby.

PROPOJENÍ STAVBY S OKOLÍM

Podzemní stavba je přístupná a propojená s vnějším prostředím v realizaci i provozu portály zajišťujícími přístup do stavby. Portály jako vstupy do podzemní stavby jsou často umístěny v lokálních depresích terénu, do kterých se stahují povrchové vody z okolí. Ty při náhlých přívalových deštích, anebo při vze-stupu hladin povrchových toků mohou být zdrojem zaplavení stavby. Technický návrh (PD) projektu a organizační opatření při realizaci často požadují ochranu proti těmto anomáliím pouze do určité míry rizika.

Realizovaná stavba není často napojena na dostatečně kapacitní čerpání a kanalizační síť, které by umožnily přijmout jiné než průsakové a technologické vody. Přitékající přívalové vody pak v dostatečné míře a čase není možné odvádět. Na sledované stavbě se také prokázalo, že je zcela nezbytné prověřovat dimenze, a především reálně volné kapacity provozované stokové sítě, na kterou má být čerpání, ať dočasné, anebo trvalé napojeno. Přívalové deště potvrdily, že existující systém vpustí dokáže při mimořádném přívalovém dešti naplnit stokovou síť natolik, že pro vody čerpané ze systému podzemní stavby už není volná kapacita, tedy že rozsáhlá podzemní stavba a související úpravy terénu stahující povrchové vody vyžadují posílení kapacity stokové sítě.

Současně je nutné ve fázi realizace a souběžné technologické montáže se zabývat ochranou rozpracovaného díla před havarijním vniknutím vody do stavby samostatnými opatřeními na potenciálních místech možného vtoku do stavby. V případě, že citlivá technologická zařízení jsou umístěna v nejnižších částech stavby, pod vozovkou, a stavba není stavebně natolik dokončena, aby bylo možné vodotěsně uzavřít přístupy k této části stavby (poklopy, prostupy aj.), není vhodné technologické montáže v částech nechráněných před vniknutím vody vůbec provádět. Návrh souběžného postupu prací se musí promítnout do technického návrhu a časového plánu stavby, a musí podmínit rizikové technologické montáže stanoveným stupněm stavebního dokončení, které je dostatečně ochrání při montáži v havarijní situaci. Současně je nutné vybudovat dostatečně kapacitní záchyty přitékajících vod, které jsou schopny jímát a odvádět havarijní vody, tedy systém vpustí a žlabů s dostatečně kapacitním trvalým odvodněním.

Pro řešení reagující na tyto požadavky je problémem i stanovení návrhového objemu přitékajících vod podle ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky (tab. 4 Doporučené četnosti a periodicity výpočtových dešťů). Intenzity a generované objemy přívalových dešťů posledních let totiž přesahují i novelizované hodnoty tzv. normového deště více než dvakrát (možné intenzity přívalových dešťů např. viz <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1464883910>). V modelovém případě v létě 2013 přívalové deště a situace stavby generovaly dále zvýšené objemy povrchových vod, protože stoková síť na hlavní přístupové čtyřproudové komunikaci (délky cca 2700 m) do stavby nezachycovala pro zanesení vpustí srážkové vody a ty stékaly přímo portály do stavby, která nebyla stavebně připravena na nutnost vodotěsného uzavření technologických prostor v nejnižších částech staveb. Došlo proto k rozsáhlému zaplavení rozpracovaných technologických částí. Tuto havarijní situaci nepředpokládal žádný kri-

the prescribed quality may become a big, even unrealisable problem. In this context it is necessary to state that clients, authors of design documentation and contractors are not sufficiently aware of this fact and pay little attention to the definition of requirements, respectively their application, despite the fact that general expectations of the final quality are high. Achieving the required quality in addition depends on meeting the organisational assumptions in the construction schedule (adhering to technology breaks).

The organisational management of the design stage and the construction procedure is extraordinarily important, especially if the contract for the construction is divided among several contractors. In such a case it is necessary to set milestones for handing the unfinished works over and the factual content of the milestones (the work to be taken over and its parameters required on the handover). But the requirements have to be realistic in the context of the progress and possibilities of the construction. The organisation of the owner (client) of a large construction project has to be prepared to manage the preparation and realisation, to adequately respond to the development of the construction project in all its complexities regarding paying respect to the project objectives.

INFLUENCE OF EXTERNAL CLIMATE ON UNDERGROUND STRUCTURE

An underground road/railway structure is usually permanently open to the external climate and environment through open portals, the number of which is usually even higher than ten, depending on the extent of the construction. The portals allow for uninterrupted influence of external climate on the internal structures of the construction, stressing by the climate above all during hot summer months when hot air with a high content of moisture permanently enters the underground structure, but similarly also during winter months when frost enters the structure.

The influence of the summer climate with a high content of moisture in air manifests itself in the underground by surface condensation, which can be confused with water seepage through the envelope structures.

CONNECTION OF THE STRUCTURE WITH THE ENVIRONMENT

An underground structure is accessible and connected with the external environment during the realisation and operation through portals providing the access into the structure. Portals as entrances to an underground structure are often found in local terrain depressions, to which surface water is gathered from the surroundings. This water can become a cause of the structure inundation in the cases of sudden downpours or rising levels of surface streams. The project technical proposal (detailed design) and organisational measures during the course of the realisation often require protection against these anomalies only within the extent of the risk.

A realised structure is often not connected to a sufficient capacity pumping system and sewerage network which would allow for accepting other than seepage and technology water. In such a case the water flowing to the structure cannot be drained away sufficiently and in the necessary time. It was also proved on the structure being observed that it is absolutely necessary to verify the dimensions and, above all, the realistically free capacities of the sewerage network being operated to which the pumping, no matter whether temporary or permanent, is to be connected. Downpours proved that, in the case of an extraordinary downpour, the existing system of gullies is capable of filling the sewerage network so much that no free capacity remains for water pumped from the underground structure system, which means that the large underground structure and associated finishes of the surrounding terrain gathering surface water require strengthening of the sewerage network capacity.

zový scénář. Pro další vývoj stavu vnitřního prostředí měly tyto vody zatečené do nejnižších konstrukcí stavby velmi negativní vliv dlouhodobým zvýšením vlhkosti.

HODNOCENÍ TĚSNOSTI PODZEMNÍHO DÍLA

Pro hodnocení jakosti podzemní stavby je obvykle rozhodující vodotěsnost obálky stavby, která se posuzuje na základě kvantifikace přítoků vody z vnitřního prostředí stavby do čerpacích stanic. Problémem pro hodnocení vodotěsnosti může být technické řešení svodu vnitřních vod, které se obvykle směšují v odvodňovacím systému zachycujícím všechny vody vyskytující se v podzemní stavbě (z průsaků, provozu, mytí, i kondenzační vody na povrchu konstrukcí). Pro objektivní vyhodnocení by vody prosakující obálkou stavby bylo třeba měřit odděleně od vod provozních (vody z provozu a údržby stavby).

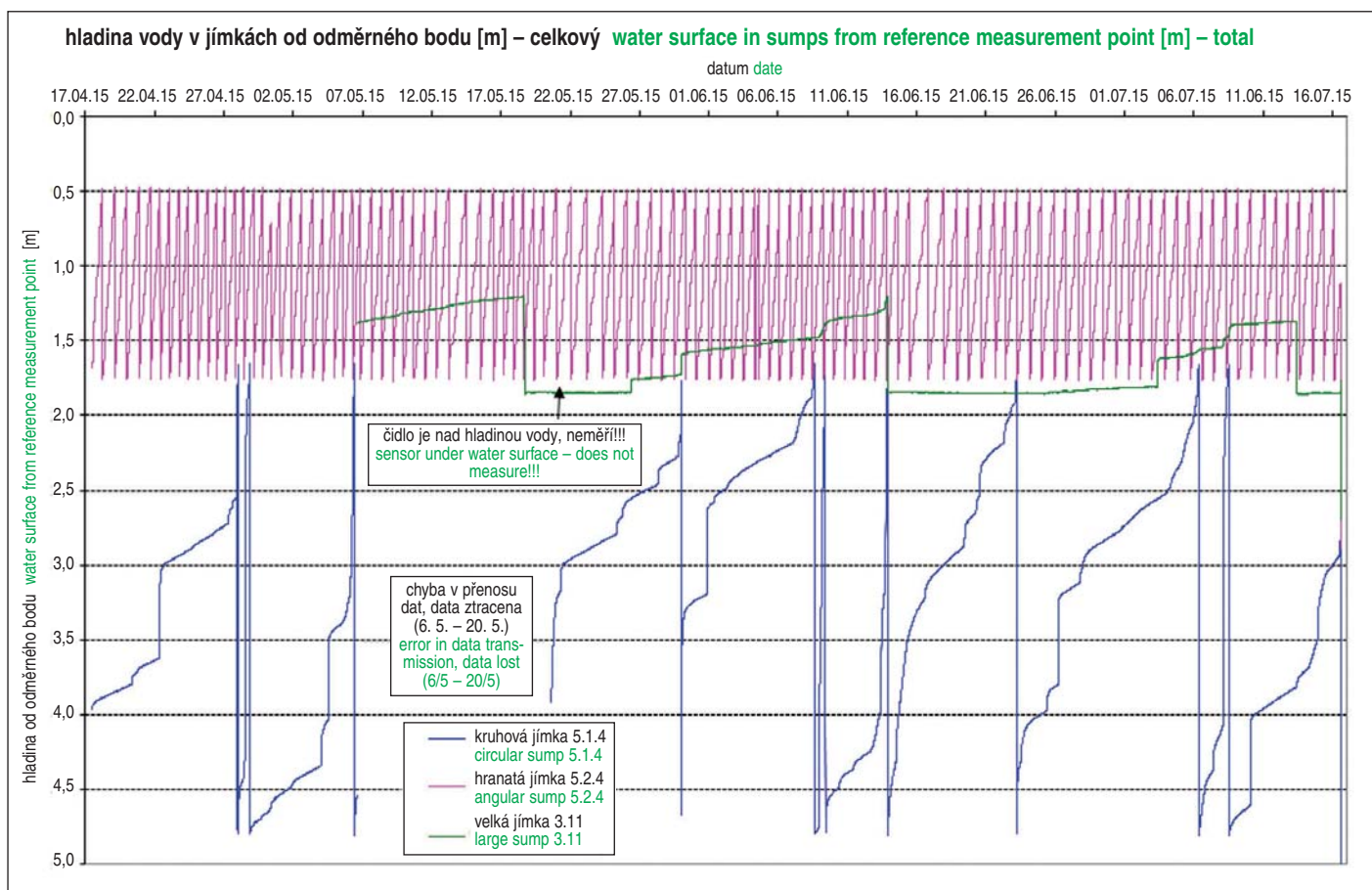
Na základě znalosti projektu, dopadových ploch deště a dalších souvislostí lze i tak odhadem oddělit v datech jen vodu z průsaků od vod jiných. Výsledky měření od firmy ARCADIS, která na stavbě prováděla kontinuální měření čerpání, jsou na obr. 1.

Z uvedených křivek po odečtení dešťů, provozních vod a kondenzací bylo stanoveno množství průsaků, které bylo poděleno plochou obalových konstrukcí tunelů vystavených požadavku na vodotěsnost (obr. 2).

Z dlouhodobějšího sledování vyplynulo, že množství průsaků je závislé na hladině podzemní vody, která se vlivem období (suché–vlhké) mění. Jeden ze stanovených požadavků TKP 24, a sice celkový průsak ostěním ($l/m^2/den$) byl trvale plněn. Je nutné počítat s tím, že u staveb s hodnotami blízkými požadavkům může být vyhodnocení shody závislé na aktuálním stavu počasí. Zároveň je však objektivně třeba přijmout, že tato informace neudává žádné sdělení o konkrétním množství průsaků (jejich intenzity) lokálního charakteru, vč. jejich důsledků, ani doklad o splnění dalších požadavků TKP 24 na vodotěsnost.

It is at the same time necessary in the phase of realisation and concurrent installation of technology equipment to deal with the protection of the incomplete works against accidental water intrusion into the structure by means of independent measures implemented in the potential locations of inflows into the structure. In the case that sensitive technology equipment is located in the lowest parts of the structure, under the roadway, and the structure is not structurally complete to allow for watertight closing the accesses to that part of the structure (covers, floor/wall openings), it is not at all appropriate to carry out the installation of technology in the parts unprotected against the intrusion of water. The proposal for the concurrent work process has to be projected into the technical proposal and the construction schedule and has to condition the risky installations of equipment by prescribing the degree of civil works completion which will protect them during the installation in an emergency situation. It is at the same time necessary to build collectors of inflowing water with sufficient capacity, which are capable of collecting and draining accidental water, i.e. a system of gullies and troughs with sufficient capacity for permanent draining.

There is a problem for solutions responding to these requirements to determine the design volume of inflowing water according to CSN 75 6101 Sewer systems and drains (see Table 4 Recommended frequency and periodicity of design rains). The reason is the fact that the intensities and volumes of downpours generated in recent years highly (more than twice) exceed even the revised values of the so-called standard rain (for the possible intensities of downpours e.g. see <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1464883910>). In a model case from summer 2013, downpours and the construction site configuration generated further increased volumes of surface water because of the fact that the sewerage network on the main four-lane access road to the construction site (ca 2700m long) did not catch the storm water due to clogged gullies and water flew directly



Obr. 1 Měření čerpání vod [8]

Fig. 1 Water pumping measurements [8]

výpočet max. dovoleného průsaku vs. skutečně čerpané množství calculation of permissible seepage versus actually pumped volume			
stavba construction	dovolený průsak permissible seepage l/den L/day	čerpano pumped l/den L/day	% požadavku per cent of requirement
Císařský ostrov <i>Císařský Island</i> (0079, 0080)	16 925,9	6 317	37,3
třída 1 (horní klenba, ČS 5.2.1) <i>class 1 (upper vault, CS 5.2.1)</i>	5 393	307	5,7
třída 2 (technické chodby, ČS 5.1.4) <i>class 2 (technology galleries, CS 5.1.4)</i>	11 533	6 010	52,1
Prašný most (9515, 0065) <i>Prašný Most bridge</i>	5 222,1	577	11,0
CELKEM <i>TOTAL</i>	22 148	6 937	31

Obr. 2 Vyhodnocení množství průsaků v tunelovém komplexu Blanka (4. 7. 2015)

Fig. 2 Assessment of the amount of seepage water in Blanka complex of tunnels (4th July 2015)

FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ

Na sledované parametry vnitřního prostředí stavby má zásadní vliv prostředí stavby, technologie využívané při stavbě a postup realizace stavby zachycený v časovém plánu. Sledované jakostní parametry, především vlhkost (prostředí i konstrukcí), je zásadně ovlivněna okolním prostředím (hladinou a prouděním podzemní vody). Stavba je současně kolektorem velkého rozsahu, rozsáhlým jámačem podzemní vody. Může vytvářet rozměrné překážky proudícím podzemním vodám a zvyšovat tak jejich hladinu (tlak) nejen přímo na stavbu, ale i na okolí v závislosti na hydrogeologických poměrech.

Další příčinou negativního působení vody na stavbu jsou mokré procesy silikátové báze podzemního stavitelství. Zpracovatelnost betonu je závislá na vodním součiniteli, obsahu vody v betonové směsi. Pro ošetřování zabudovaného betonu se univerzálně využívá také voda. Zabudovaná voda je částečně spotřebována při hydrataci, ale značná část se vždy musí odpařit do vnitřního prostředí stavby, a tak dochází k dočasnému sycení vnitřního prostředí vlhkostí.

Dalším faktorem negativně ovlivňujícím vnitřní prostředí tunelu jsou vody, které v tunelu vznikají následkem vnějších klimatických podmínek v místě a čase stavby, vody kondenzující ze vzdušných vodních par na chladných konstrukcích podzemní stavby.

V provozované stavbě je vnitřní prostředí zásadně ovlivňováno vodou způsobu zachycenými na obr. 3.

Protože při plnění konstrukčních požadavků na stavbu je nejméně prozkoumaný vliv vnitřního prostředí a vliv vnějších vod zatékajících do stavby vstupy (portály, šachtami), příspěvek se dále věnuje pouze jejich vlivům a opatřením, které je omezují.

PARAMETRY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ V TUNELU BĚHEM VÝSTAVBY

Pokud jsou během výstavby dodržovány běžné požadavky na vnitřní prostředí, a přesto se po kontrole stanovených požadavků zdá, že je dokončená stavba není schopna plnit, je nutné se zaměřit na vlivy, které nejsou obvykle uvažovány. V případě nadměrné vnitřní vlhkosti konstrukcí i prostředí byla po dlouhodobém sledování stavu vnitřního prostředí a negativních projevů stanovena předběžná hypotéza vysvětlující důvody nesplnění stanovených parametrů jakosti.

PŘEDPOKLADY HYPOTÉZY

Na základě dlouhodobých zkušeností z výstavby podzemních staveb v letním období hypotéza předpokládala, že vysoká letní vzdušná vlhkost obsažená ve vzduchu proudícím do podzemní stavby, společně s nedostatečnou výměnou vzduchu ve stavbě, je příčinou povrchové kondenzace vody na chladných konstrukcích podzemní stavby.

through portals to the structure, which was not structurally prepared for the necessity of watertight closing of spaces for technology equipment found in the lowest parts of the structures. This was the reason why the unfinished technology parts were significantly inundated. This emergency situation was not assumed by any crisis scenario. The water which flew into the lowest structures had a very negative influence on the subsequent development of the internal environment condition due to a long-term increase in the moisture level.

ASSESSMENT OF UNDERGROUND STRUCTURE TIGHTNESS

The usually deciding factor for assessing the quality of an underground structure is the water-tightness of the construction envelope, which is assessed on the basis of the quantification of water flows from the internal environment inside the structure to pumping stations. A problem for the assessment of water-tightness may be posed by the technical solution to the internal water collection system. The internal water is usually mixed in the drainage system catching all water types occurring in the underground structure (water from leaks, operation, rinsing water and condensation water on the surface of structures). It would be necessary for objective assessing if water seeping through the structural envelope is measured separately from operation water (water from the operation and maintenance of the structure).

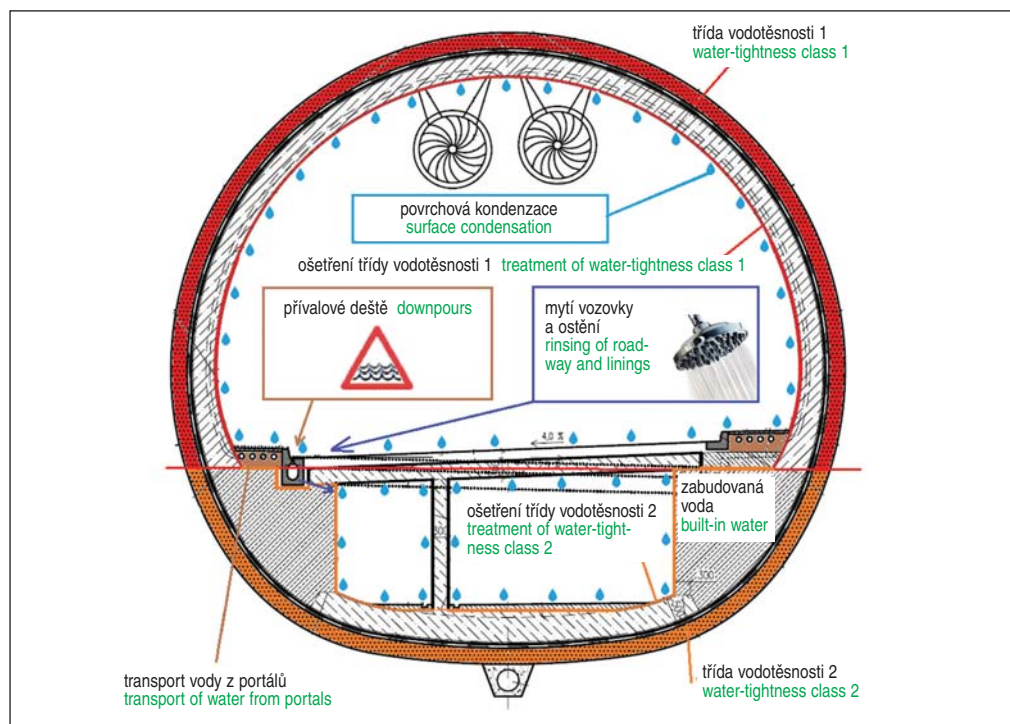
Anyway, the data on the seepage water can be separated from the data on other water by guessing, on the basis of the knowledge of the design, the rain impact areas and other contexts. The results of measurements carried out by the company of ARCADIS, which conducted continual measurements of pumping on site, are presented in Fig. 1.

The amount of seepage water divided by the area of the tunnel enveloping structures exposed to the requirement of the water-tightness was determined from the above-mentioned curves after deducting storm water, operation water and condensation water (see Fig. 2).

It followed from long-term monitoring that the amount of seepage water depends on the water table level, which varies due to the season (dry-damp). One of the prescribed requirements of the TKP 24 specification, namely the total seepage through the lining ($L/m^2/day$) was permanently met. It is necessary to take into account the fact that in the cases of structures where the values approximate the requirements, the assessment resulting into conformity depends on the current condition of weather. It is however necessary to objectively accept the fact that this information provides neither knowledge about the particular amount of seepage (its intensity) of a local character, including its consequences, nor a proof of meeting other TKP 24 requirements for water-tightness.

FACTORS INFLUENCING INTERNAL ENVIRONMENT

The monitored factors of the internal environment inside a structure are principally influenced by the construction environment, the



Obr. 3 Možné vnější a vnitřní vlivy v tunelu během provozu

Fig. 3 Possible external and internal effects inside the tunnel during operation

Podzemní konstrukce, především obálka stavby (ostění) si udržují trvale nízké teploty kontaktem s horninovým prostředím za rubem konstrukcí. K poznání zákonitosti vývoje parametrů vlhkosti je nutné teplotu podzemních konstrukcí, klimatické parametry vnějšího a vnitřního vzduchu a především proudění vzduchu ve stavbě zkoumat ve vzájemné interakci. Na základě zjištěných údajů je možné ovlivňovat provětrávání podzemní stavby tak, aby povrchové teploty konstrukcí a vlhkost vzduchu umožnily odvětrávání nadkritického množství vody ve vnitřním prostředí podzemní stavby.

VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ V PODZEMNÍ STAVBĚ V LETNÍM OBDOBÍ 2014

V tomto období reálný stav konstrukcí signalizoval nadkritickou hodnotu vzdušné vlhkosti vedoucí k masivní povrchové kondenzaci nejen na konstrukcích stavby, ale i na zabudovaných technologiích, a byl důvodem, proč v červnu 2014 bylo zahájeno monitorování vnitřního mikroklimatu. Osazenými čidly byl monitorován stav (parametry) vnitřního prostředí nad vozovkou v tunelové troubě v období 6. 6.–18. 6. 2014 (obr. 4) i v technických chodbách pod vozovkou v období 18. 6.–26. 9. 2014 (obr. 5, 6) a v místě technologických zařízení.

VNĚJŠÍ PROSTŘEDÍ V MÍSTĚ STAVBY V LETNÍM OBDOBÍ 2014

Současně bylo monitorováno i vnější prostředí stavby a získané hodnoty porovnávány s normovými předpoklady technického řešení. Rozložení hodnot vnějšího prostředí pro přehlednost všech sledovaných parametrů bylo vyneseno do HX diagramu (obr. 7). Modrá jsou klimatická data vnějšího vzduchu v 30minutovém intervalu. Červený bod je tehdy platný normový parametr 32 °C a entalpie 56 kJ/kg s.v.

Z analýzy získaných dat vyplynulo, že po dobu více než 10 dnů (250 h) v měřeném období byla překročena normová hodnota entalpie (vpravo od červené čáry) a po dobu více než 22 dnů (530 h) byla teplota rosného bodu vzduchu vyšší než

technologies used during the construction and the construction process described in the works schedule. The monitored quality parameters, first of all the moisture in the environment and moisture of structures, are principally influenced by the surrounding environment (the water table level and groundwater flows). The structure is at the same time a large-scale collector of groundwater. It can create large obstacles to flowing groundwater, thus to increase the water table level and the pressure acting not only directly on the structure but even on the surroundings, depending on the hydrogeological conditions.

Another cause of the negative influence of water on the structure lies in the wet processes of the silicate basis of underground structural engineering. The workability of concrete depends on the cement-water ratio, the water content in the concrete mixture. Water is also uni-

versally used for curing the built-in concrete. Built-in water is partially consumed during the process of hydration, but a significant portion must always evaporate into the internal environment inside the structure; in this way the internal environment is temporarily being saturated with moisture.

Another factor negatively influencing the internal environment inside a tunnel is water originating inside the tunnel due to external climatic conditions in the location and time of the construction, water condensing from atmospheric water vapour on cold structures of the underground construction.

The internal environment in an operated structure is principally affected by water by the ways presented in Fig. 3.

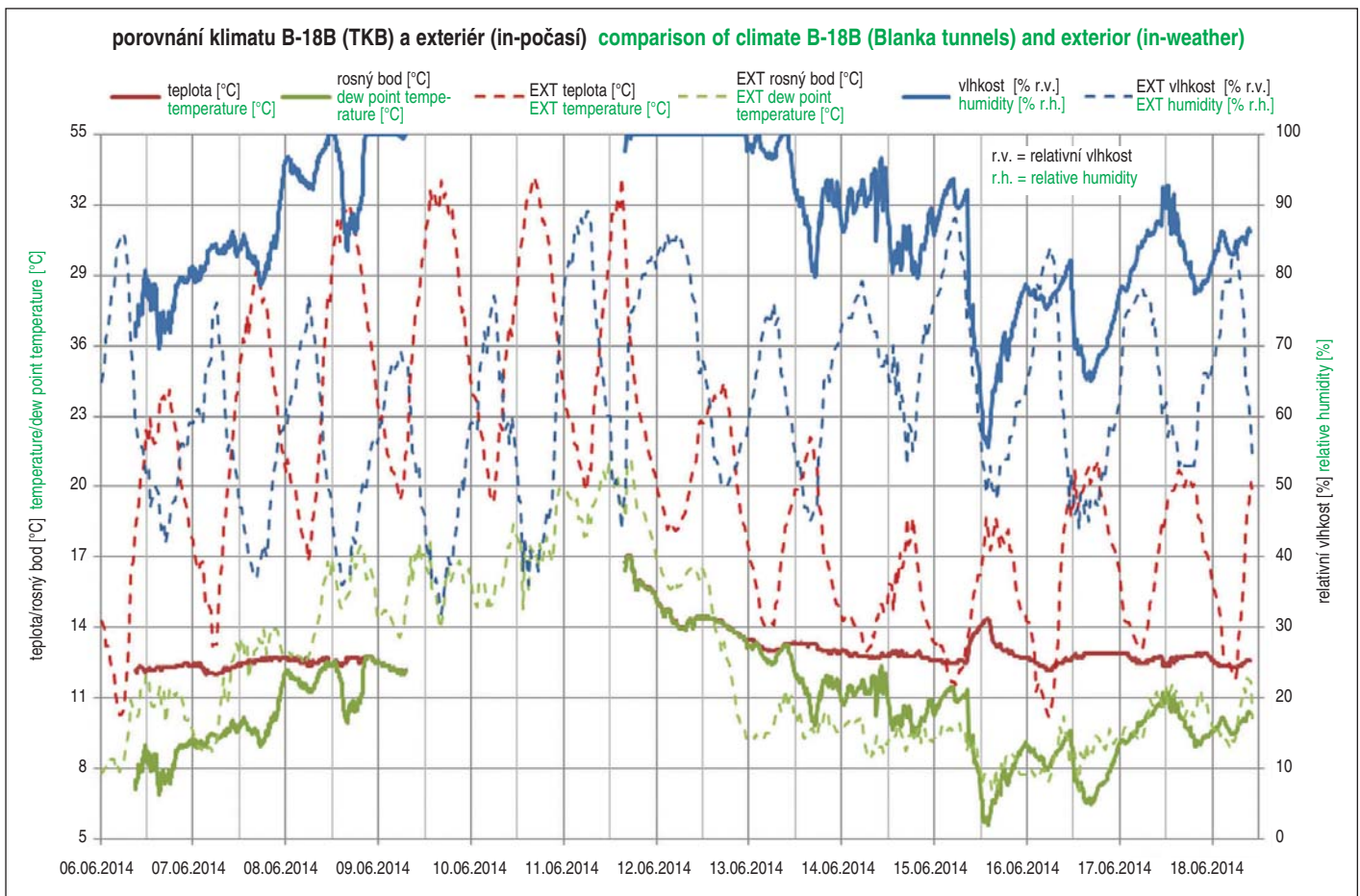
Because of the fact that the least explored during fulfilling structural requirements for construction is the influence of the internal environment and the influence of external water flowing into the structure through entrances (portals, shafts), this paper is further focused only on their influences and the measures which restrict them.

PARAMETERS OF INTERNAL ENVIRONMENT INSIDE A TUNNEL DURING CONSTRUCTION WORKS

If common requirements for internal environment are fulfilled during the construction and, despite this fact, it seems after checking the prescribed requirements that the finished structure is not able to meet them, it is necessary to focus on the effects which are not usually taken into consideration. In the case of excessive internal moisture of structures and environment, the preliminary hypothesis explaining the reasons for the failure to fulfil the prescribed parameters of quality was established after long-term monitoring of the condition and negative manifestations of the internal environment.

HYPOTHESIS ASSUMPTIONS

The hypothesis assumed on the basis of long experience from construction of underground structures in summer seasons that the high summer-time moisture contained in the air flowing to the underground structure, together with the insufficient exchange of air inside the structure, is the cause of the condensation of water on the surface of cold structures of the underground construction.



Obr. 4 Prostor v tunelových troukách 2014
Fig. 4 Environment inside tunnel tubes 2014

16 °C. V podzemní stavbě tedy docházelo ke kondenzaci vzdušné vlhkosti na chladném povrchu konstrukcí, který z dlouhodobé zkušenosti dosahuje teploty cca 12 °C. Přibližný numerický výpočet objemu kondenzace vzdušné vlhkosti z horkého vzduchu ve vnitřním prostředí celého rozsáhlého tunelového komplexu z dat zaznamenaných vnějších klimatických podmínek odhadoval množství zkondenzované vody cca 190 000 l v celé stavbě za celé letní období, která zhoršovala vlhkostní stav všech vnitřních konstrukcí stavby. Mezi jiným bylo zjištěno, že převážná část kondenzace proběhla v červenci 2014, který byl meteorology vyhodnocen jako jeden z nejteplejších a zároveň nejdeštivějších měsíců, tj. nejvlhčích období v dlouhodobém pozorování.

DÍLČÍ ZÁVĚRY

Na základě výstupů postupných analýz naměřených hodnot v kombinaci s termovizním měřením teplot povrchu konstrukcí byly stanoveny dílčí závěry.

Ke vzniku kondenzace vzdušné vlhkosti na povrchu chladných konstrukcí v podzemní stavbě vč. kabelových kanálů dochází v letním období při vysokém nasycení vnějšího vzduchu vlhkostí při trvale nízké povrchové teplotě podzemních konstrukcí. Měření potvrdilo empirické předpoklady povrchové teploty podzemních konstrukcí termovizní observací na hodnotách +11 až +13 °C bez vlivu větrání.

Při zajištění dostatečného proudění vnějšího, velmi teplého vzduchu stavbou stoupají povrchové hodnoty v závislosti na poloze vůči portálům až k +17 °C, kdy povrchová kondenzace začíná klesat.

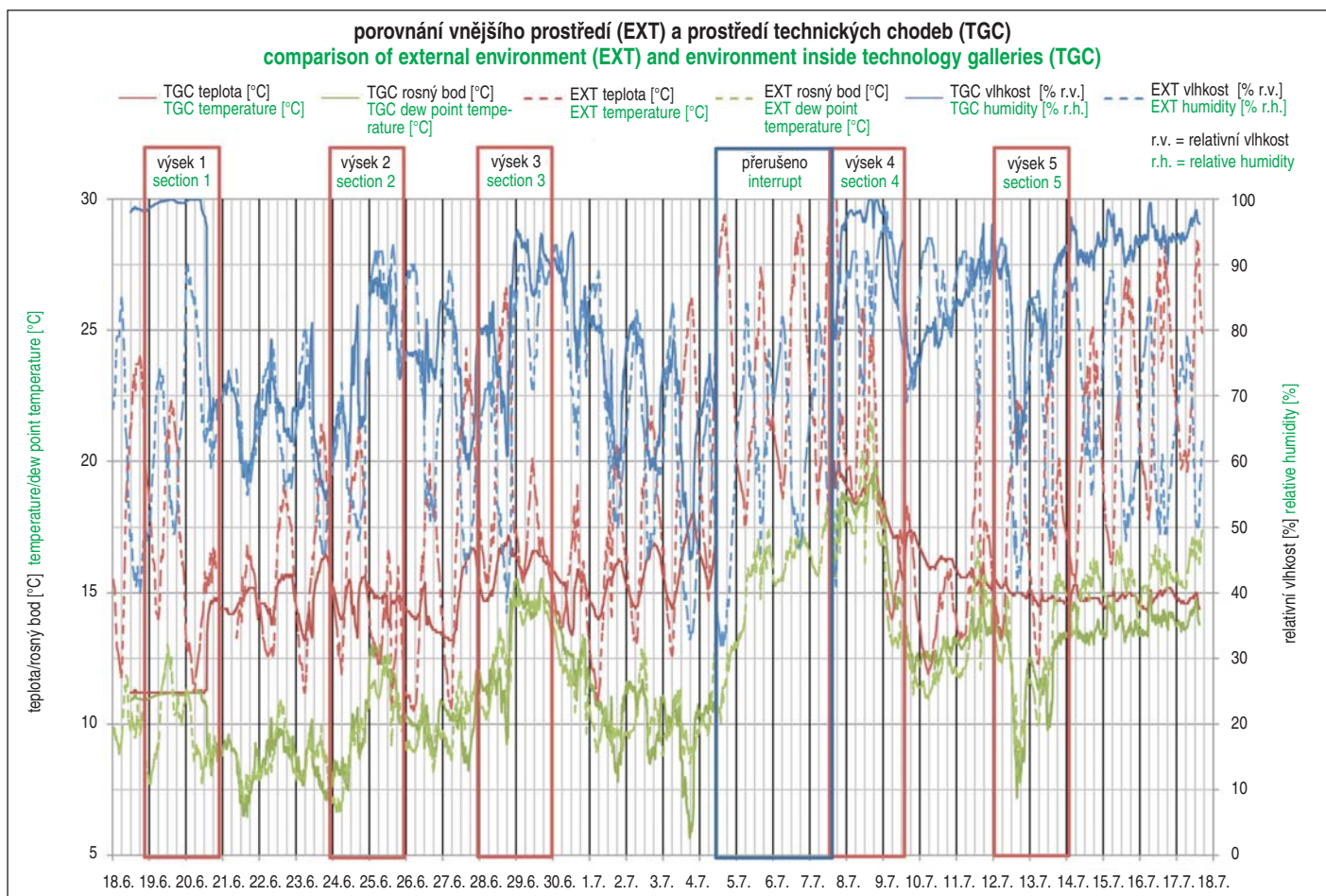
Underground structures, mainly the structural envelope (the lining), maintain permanently low temperatures through the contact with the water containing environment behind the external surface of the structures. To start to understand the rules of the development of the parameters of moisture, it is necessary to explore the temperature of underground structures, the climatic parameters of internal and external air and, above all, flowing of air inside the structure, in interaction with each other. It is possible on the basis of the determined data to affect the ventilation of the underground structure so that the surface temperatures of structures and the content of moisture in the air allow for removing the above-critical amount of water from the internal environment inside the underground structure.

INTERNAL ENVIRONMENT INSIDE UNDERGROUND STRUCTURE DURING SUMMER SEASON 2014

In this season, the real state of the structures signalled an above-critical value of air moisture leading to massive surface condensation not only on structures of the construction but also on built-in equipment. It was the reason why the monitoring of the internal microclimate was initiated in July 2014. Sensors were installed to monitor the condition (parameters) of the internal environment over the roadway inside the tunnel tube (in the period from 6th June to 18th June 2014), (see Fig. 4), in technical galleries under the roadway (18th June – 26th September 2014), (see Figures 5 and 6) and in the places of technology equipment.

EXTERNAL ENVIRONMENT IN THE CONSTRUCTION SITE LOCATION IN SUMMER SEASON 2014

The external environment inside the structure was monitored concurrently and the obtained values were compared with the standard



Obr. 5 Prostedí v technických chodbách

Fig. 5 Environment in technology cross passages

Z naměřených dat v interakci s ostatními sledovanými veličinami ovlivňujícími vnitřní prostředí v tunelu během výstavby lze usoudit, že:

- Množství vzdušné vlhkosti ve vnitřním prostředí stavby, tj. teplota rosného bodu se ve všech částech stavby s mírným zpožděním shoduje s hodnotami vlhkosti vnějšího klimatu.
- Při teplotě rosného bodu venkovního vzduchu $t_{RB} \geq 13^\circ\text{C}$ je relativní vlhkost vzduchu v kabelových chodbách pod vozovkou vždy vyšší než 85 %.
- Při teplotě rosného bodu venkovního vzduchu $t_{RB} \geq 16^\circ\text{C}$ dochází k povrchové kondenzaci v tunelových troubách.
- Při teplotě rosného bodu venkovního vzduchu $t_{RB} \geq 20^\circ\text{C}$ dochází v kabelových chodbách k povrchové kondenzaci i přes spuštěné větrání.
- Následkem trvajících horkého počasí během výstavby v podzemních komplexech dlouhodobá kondenzace, stékající kondenzát a vzdušná vlhkost nasycují prostor technických chodeb a kabelových kanálů a mohou způsobit povrchovou kondenzaci na napájecích i řídicích kabelech.
- Pokud nejsou kabelové chodby intenzivně nuceně větrány, dochází k dalšímu sycení vnitřního vzduchu transportem zkondenzované vlhkosti uvnitř konstrukcí, z provozu, z okolí stavby a ze zabudované vlhkosti, což vede až ke kondenzaci uvnitř kabelových chodeb.

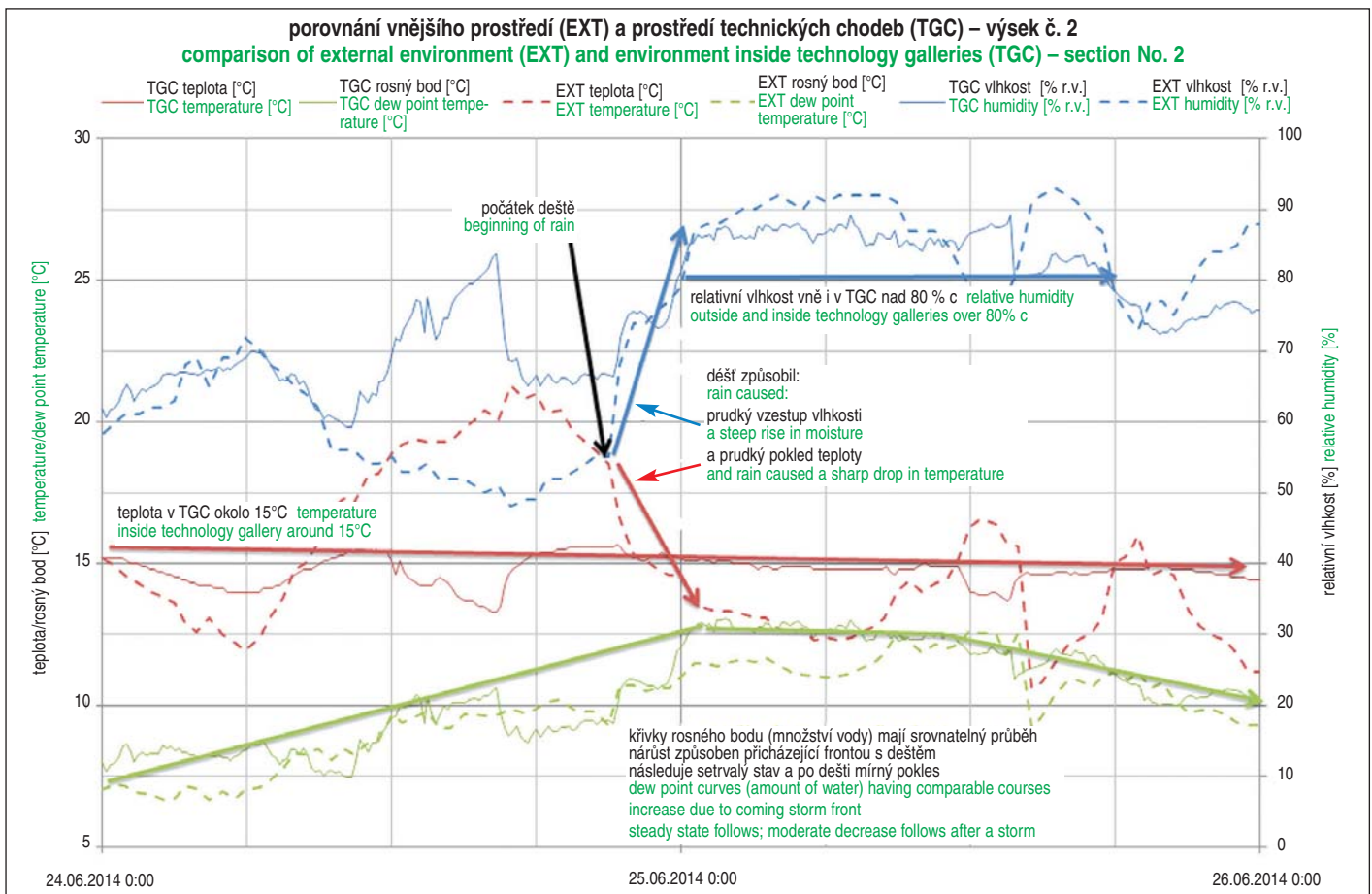
Závislost letní povrchové kondenzace v podzemní stavbě na teplotě vnějšího vzduchu jednoznačně prokazuje rozvoj plošné kondenzace až na vozovku tunelu. Povrchovou plošnou kondenzaci si nelze plést s průsaky obvodovými konstrukcemi. Tato kondenzace vznikala vždy za velmi horkých dnů v období bez provozu tunelu. Po ochlazení vnějšího vzduchu rychle odezněla

assumptions of the technical solution. The distribution of the values of the external environment was plotted for the sake of clarity of all monitored parameters into the HX diagram (see Fig. 7). The climatic data on the external air at 30 minute intervals is marked in blue. The red point is for the standard parameter of 32°C and enthalpy of 56kJ/kg of dry air, applicable at that time.

It followed from the analysis of the obtained data that the standard enthalpy value (on the right side of the red line) was exceeded for more than 10 days (250 hours) during the measured period and the dew point temperature was higher than 16°C for more than 22 days (530 hours). This means that air humidity condensed on cold surfaces of structures, the temperature of which, from long-term experience, reaches ca 12°C . The approximate numerical calculation of the volume of the condensation of air humidity from the hot air in the internal environment inside the entire extensive complex of tunnels carried out using the data on the recorded external climatic conditions estimated the amount of water condensed inside the whole structure during the course of the whole period to be ca 190,000 litres. It deteriorated the moisture condition of all structures of the construction. It was found out among others that the majority of the condensation happened in July 2014, which was assessed by meteorologists as one of the hottest and at the same time wettest months, i.e. one of the wettest periods during the long-term monitoring.

PARTIAL CONCLUSIONS

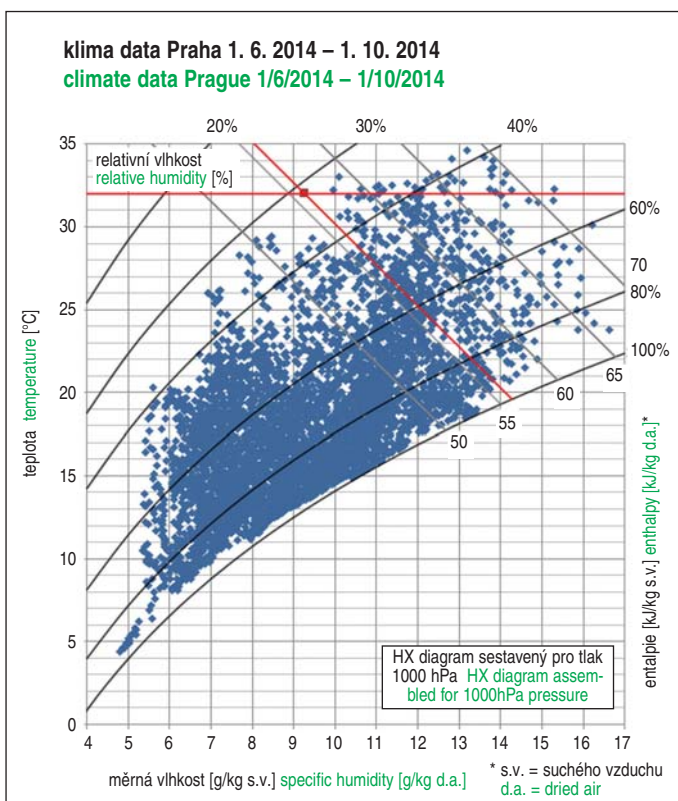
The partial conclusions were drawn on the basis of outputs of successive analyses of the measured values in combination with measuring the temperatures of the structure using thermal imaging cameras.



Obr. 6 Prostedí v technických chodbách – výsek č. 2

Fig. 6 Environment in technology galleries – cut-out No. 2

a s příchodem chladnějšího počasí vymizela zcela. Příklady projevu plošné kondenzace v horkých dnech jsou zachyceny na snímcích (obr. 8).



Obr. 7 Vnější prostředí v letním období 2014

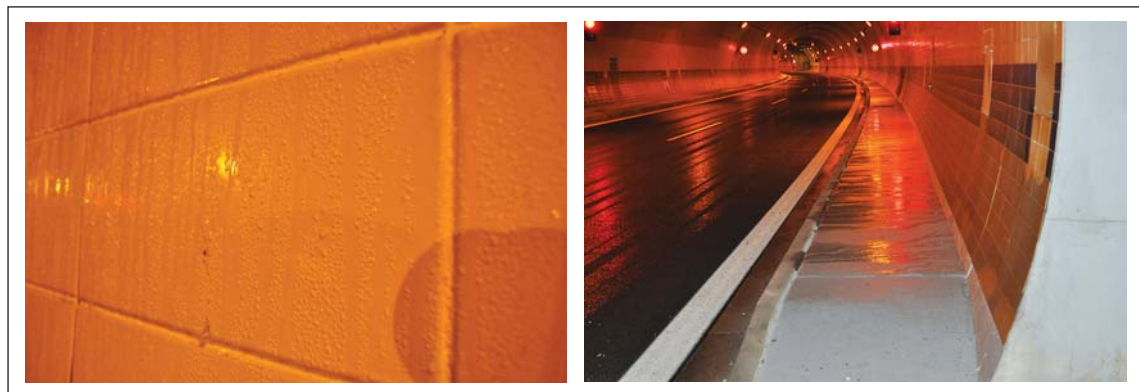
Fig. 7 External environment during summer season 2014

The condensation of air moisture on the surface of structures in the underground construction, including cable ducts, occurs in summer seasons when the external air is saturated with moisture and the temperature of surfaces of underground structures is permanently low. The measurement confirmed the empirical assumptions about the temperature of surfaces of underground structures by means of observation using thermal imaging cameras that the temperatures without the influence of ventilation varied between +11 and +13°C.

When sufficient flow of very hot external air through the structure is ensured, the surface-related values rise, depending on the location relative to the portals, up to +17°C. At this temperature the surface condensation begins to drop.

It is possible to conclude from the measured data in the interaction with the other monitored quantities influencing the internal environment inside the tunnel during the construction that:

- The amount of air humidity in the internal environment inside the structure, i.e. the dew point temperature, is equal, with a certain delay, to the values of humidity of the external climate in all parts of the structure.
- At the dew point temperature of external air $t_{RB} \geq 13^\circ\text{C}$ the relative humidity of air in cable galleries under the roadway is always higher than 85%.
- At the dew point temperature of external air $t_{RB} \geq 16^\circ\text{C}$ the surface condensation in tunnel tubes takes place.
- At the dew point temperature of external air $t_{RB} \geq 20^\circ\text{C}$ surface condensation in cable galleries takes place even despite running ventilation.
- As a result of continuing hot weather during construction, the long-term condensation, the down-trickling condensate and the air humidity saturate the space of technical galleries and cable ducts and may cause surface condensation on power cables and control cables (neither internal civil engineering structures nor surface finishes are watertight).



Obr. 8 Povrchová kondenzace v tunelu (9. 6. 2014)

Fig. 8 Surface condensation in the tunnel (9th June 2014)

VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ V MÍSTĚ STAVBY V LETNÍM OBDOBÍ 2015

Po zkušenostech z léta 2014 bylo květnu 2015 (před uvedením do provozu) zahájeno namátkové měření teploty vzduchu a nově i povrchové teploty ostění tunelu. Měření bylo prováděno v jižní tunelové troubě za vjezdem v Troji v neovlivněném místě portálem (v grafu na obr. 9 označeno B-20A) až za výjezd na Letné, kde byla měřena i část vodorovného profilu tunelu v hloubené části (B-6A) za výjezdem na Letnou.

Jakmile nastaly horké dny a znovu se objevila povrchová kondenzace na konstrukcích tunelu, bylo v souladu s dílčími závěry rozhodnuto, že využitím a řízením provozu trvalých větracích systémů (proudové ventilátory ve vrchlíku tunelu) budou tunely na základě stanovených podmínek provětrávány s cílem zvýšit pohyb vzduchu v podzemí a povrchové teploty konstrukcí, a tak omezit povrchovou kondenzaci. Tato skutečnost byla opět

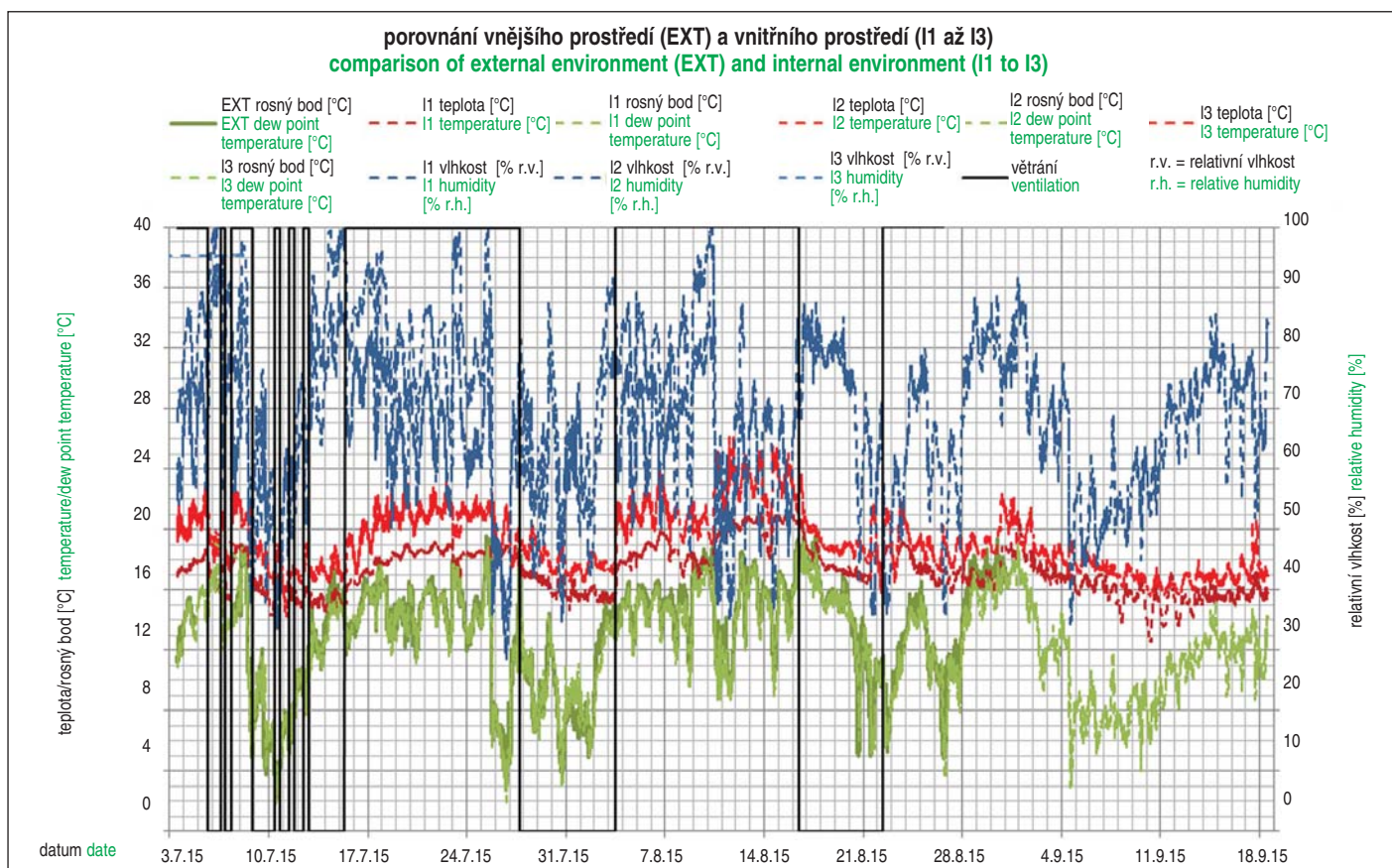
- Unless the cable galleries are intensely forcedly ventilated, the internal air is further saturated with moisture by the transport of the moisture condensed inside the structures, by water from the operation, water from the structure surroundings and by the built-in moisture. It even leads to

the condensation inside cable galleries.

The dependence of the summer surface condensation inside an underground structure on the temperature of external air is unambiguously proved by the development of surface condensation extending down to the tunnel roadway. The surface condensation cannot be mistaken for seepage through peripheral structures. This condensation always developed during very hot days in the periods without the tunnel operation. After the external air cooled down, with the onset of cooler weather, the condensation faded away and completely disappeared. Examples of the surface condensation during hot days are presented in photographs (see Fig. 8).

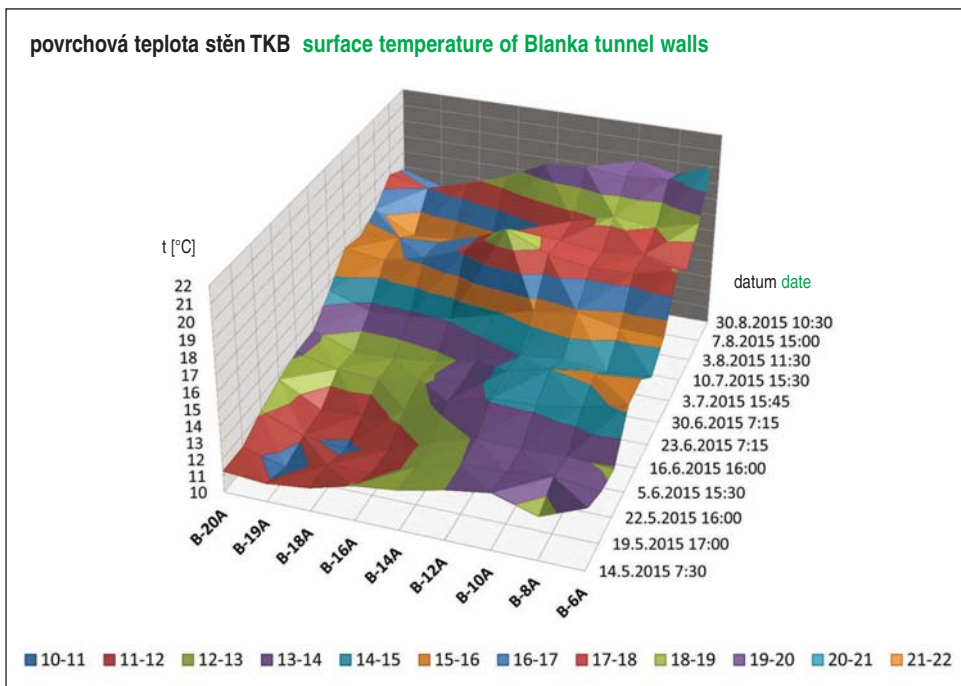
INTERNAL ENVIRONMENT IN THE CONSTRUCTION SITE LOCATION IN SUMMER SEASON 2015

After the experience of 2014, random measuring of air temperatures and newly also of the tunnel lining surface temperature started in May 2015 (prior to putting the tunnel into service). The measurement was carried out in the southern tunnel tube, behind the entrance in Troja, in a place unaffected by the portal (marked as B-20A)



Obr. 9 Prostředí v tunelových troubách 2015

Fig. 9 Environment inside the tunnel tubes 2015



Obr. 10 Růst povrchové teploty stěn tunelu v letním období 2015 vlivem větrání
Fig. 10 Increase in surface temperatures of tunnel walls due to ventilation during summer season 2015

měřena pomocí dataloggerů na třech místech v měřené části tunelu (obr. 9).

Pro zahájení nuceného provětrávání byly na základě údajů předchozího monitoringu vnitřních povrchových teplot konstrukcí stanoveny výchozí hodnoty na vnější teplotu $t_{EX} > +18\text{ °C}$ a teplotu rosného bodu $t_{RB} < +13\text{ °C}$. Tyto předpoklady se potvrdily vč. nastavených počátečních hodnot pro zahájení větrání a v krátké době řízeného provětrávání začalo klesat množství povrchové kondenzace. Prokázal se tak pozitivní vliv větrání zvýšením teplot vnitřního prostředí (obr. 9) i povrchů konstrukcí (obr. 10). Výchozí hodnoty byly dále zpřesňovány.

Průběhy povrchových teplot konstrukcí a teploty vnitřního prostředí v podzemní stavbě ve vybraných bodech ukazují grafy na obr. 10 a 11. Nucené provětrávání probíhalo vždy jedním párem proudových ventilátorů v klenbě tunelu poblíž nejhlubšího místa stavby. Při příchodu extrémních teplot se po opakovaném spuštění větráků podařilo zvýšit povrchovou teplotu konstrukcí v kritických místech z $+10\text{ °C}$ až na $+17\text{ °C}$ a tak výrazně oddálit nástup a potlačit rozsah povrchové kondenzace. Ta v uvedeném místě podle měření nastala pouze na dobu cca 5 h.

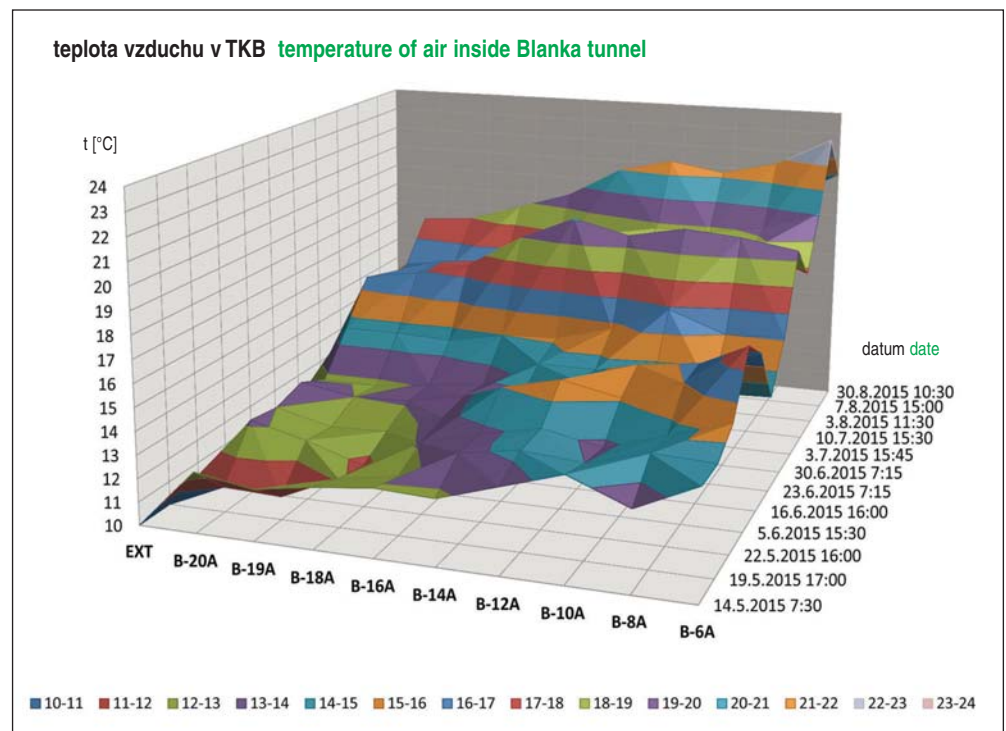
Během období nízkých teplot (13. 7. 2015), kdy nebylo žádoucí větrat stavbu, bylo provedeno komplexní měření povrchových teplot v polovině tunelu pomocí termovizní kamery. Bylo pořízeno 527 termovizních snímků, ze kterých byl sestaven teplotní profil ostění tunelu. Ten byl porovnán s podélným řezem stavby a polohou tunelu v terénu (obr. 12).

Vynesené povrchové teploty podzemních konstrukcí odpovídají

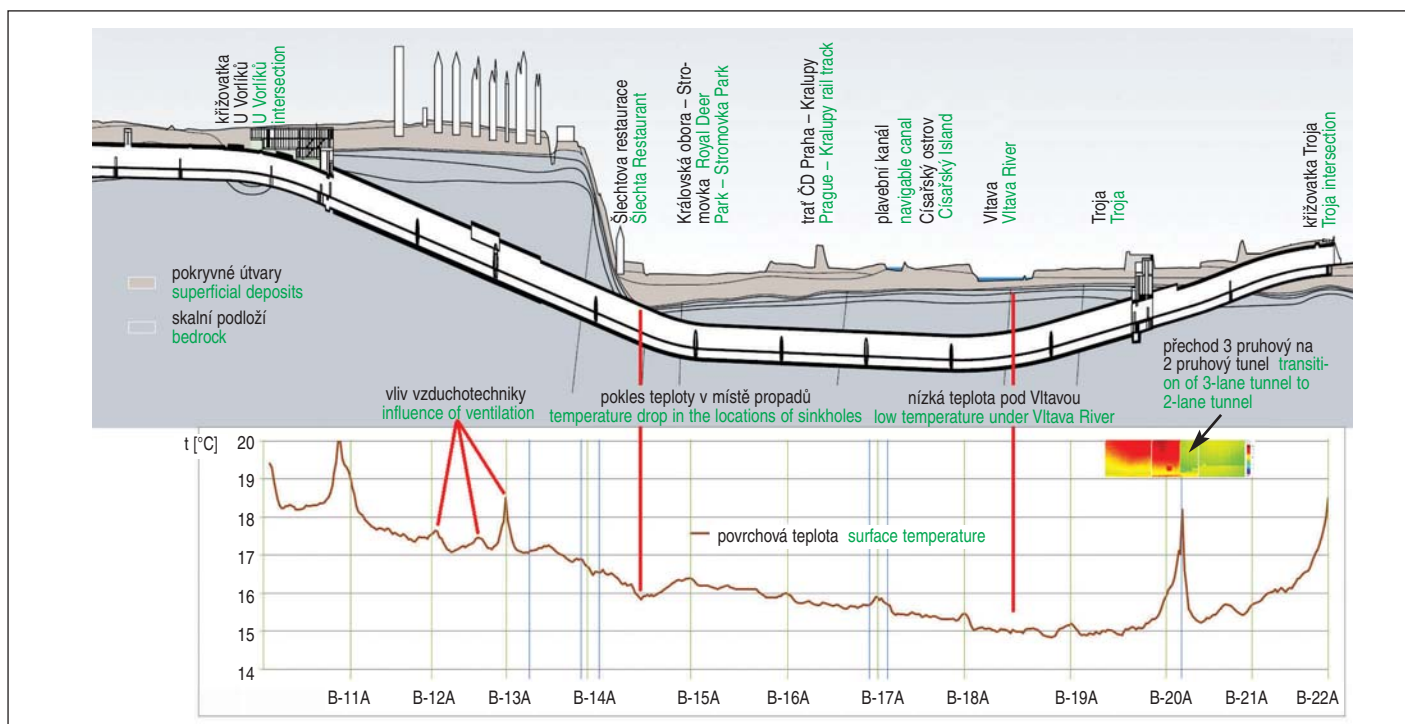
in the graph see Fig. 9) up to the exit in Letná, where a part of the horizontal profile of the tunnel was measured even in the cut-and-cover part (B-6A) beyond the exit to Letná.

As soon as hot days came about and the surface condensation reappeared on the tunnel structures, the decision was made on the basis of the prescribed conditions that the tunnels would be ventilated by the use and management of the operation of permanent ventilation systems (jet fans at the top of the tunnel vault) with the aim of increasing the movement of air in the underground and the surface temperature of structures, thus reducing the surface condensation. This process was again measured by means of data loggers installed in three places in the measured part of the tunnel (see Fig. 9).

Starting values of the external temperature $t_{EX} > +18\text{ °C}$ and the dew point temperature $t_{RB} < +13\text{ °C}$ were specified for the forced driving of air through the tunnel on the basis of the data obtained by the previous monitoring of internal surface temperatures. These assumptions were confirmed, including the initial values set for the commencement of ventilation, and the amount of surface condensation began to drop within a short time of the controlled driving of air through the tunnel. In this way the positive influence of the ventilation manifesting itself by increased temperature of the internal environment (see Fig. 9) and temperatures of surfaces of structures (see Fig. 10) was proved. The starting values were further refined.



Obr. 11 Růst teploty vzduchu v tunelu v letním období 2015 vlivem větrání
Fig. 11 Increase in temperatures of air inside the tunnel due to ventilation during the summer season 2015



Obr. 12 Vztah povrchové teploty a podélný řez tunelu (13. 7. 2015)

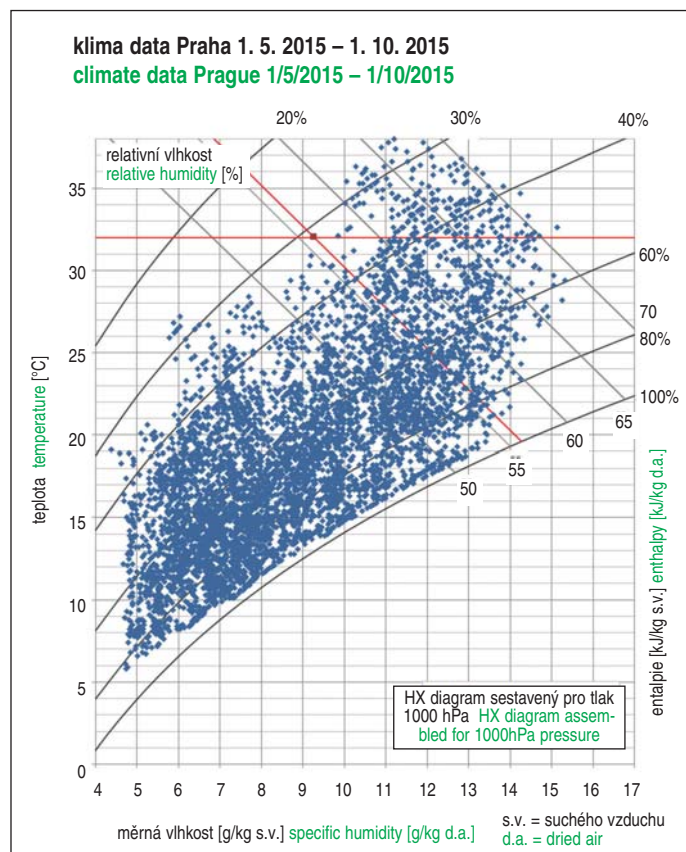
Fig. 12 Relationship between the surface temperature and the longitudinal tunnel section (13th July 2015)

tvary příčného profilu a mj. také potvrdily předpokládaný vliv polohy stavby v terénu (s ohledem na hladinu podzemní vody) na vnitřní prostředí. Nejchladnější místo tunelu bylo zastiženo v oblasti podchodu stavby pod korytem řeky Vltavy a podobně i v místech zcela zvodnělého nadloží. Naopak teplotní maxima byla zastižena u vyústění větrání technologických zařízení. Zajímavou teplotní anomálií jsou

The curves for surface temperatures of structures and temperatures of the internal environment inside the underground structure at the selected points are presented in graphs in Figures 10 and 11. The forced driving of air through the tunnel was carried out always by means of one pair of jet fans installed under the top of the tunnel vault near the deepest point of the tunnel structure. When the extreme temperatures arrived, the surface temperature of structures was successfully increased after repeated starting of the fans in the critical places from +10°C up to +17°C, thus the onset and extent of the surface condensation was significantly delayed. According to the measurements, the condensation occurred only for ca 5 hours in the above-mentioned measurement place.

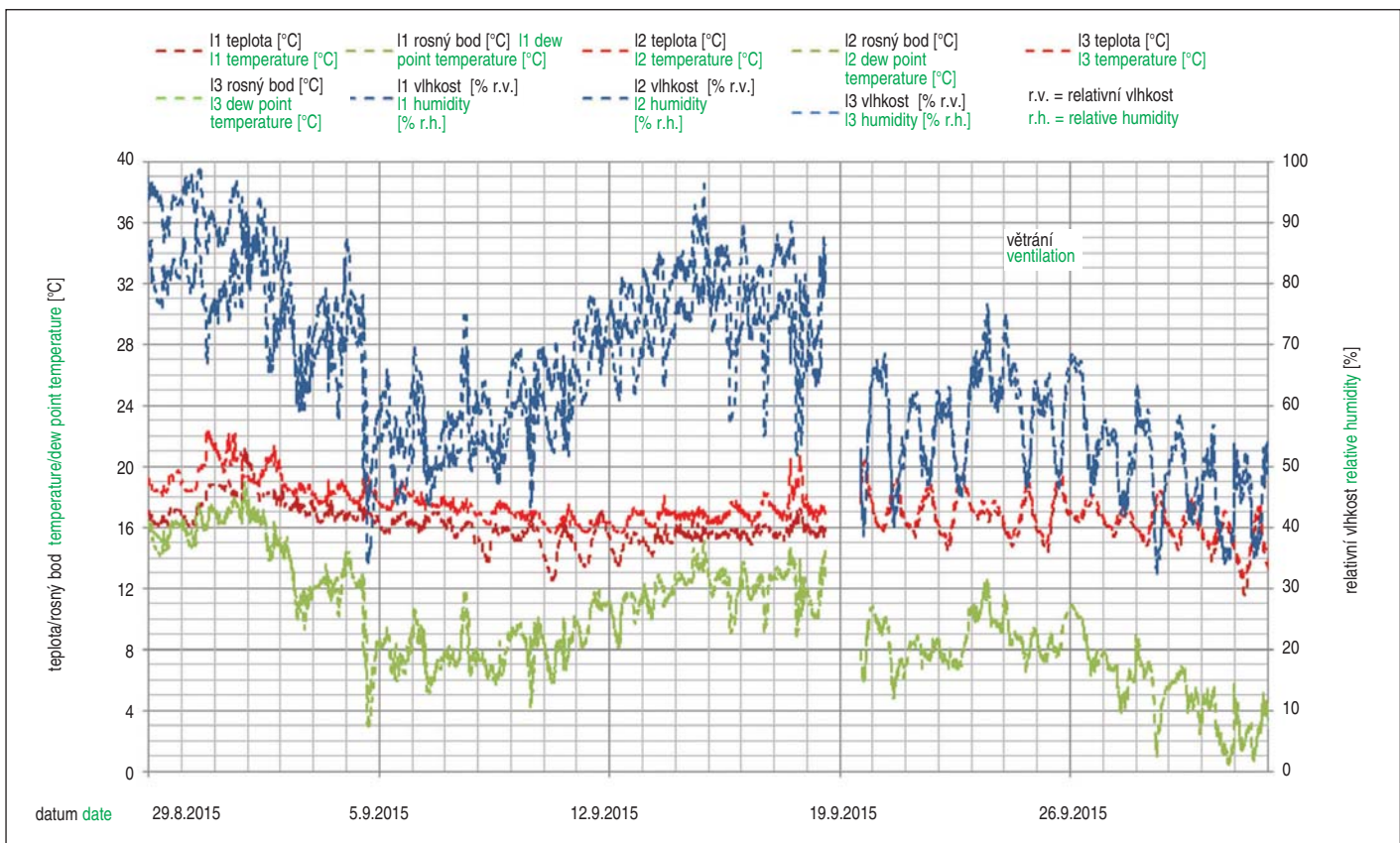
Comprehensive measurements of surface temperatures were conducted in the middle of the tunnel by means of a thermal imaging camera during a period of low temperatures (13th July 2015), when driving air through the tunnel was not desirable. The camera provided 527 pictures, which were used for assembling a thermal profile of the tunnel lining. The profile was compared with the longitudinal profile of the tunnel and the position of the tunnel in the terrain (see Fig. 12).

The plotted surface temperatures of underground structures correspond to the shape of the cross-section and, among others, even confirmed the assumed influence of the position of the structure in the terrain (with respect to the water table level) on the internal environment. The coldest place of the tunnel was encountered in the area of the tunnel passage under the Vltava River bed and, similarly, in the locations of the completely water saturated overhead. Conversely, temperature maximums were encountered at the mouths of the technology equipment ventilation. An interesting thermal anomaly was encountered in the locations of changing cross-sections, where the pressure and velocity-related parameters of the air flowing through the structure and, above all, the ratio of the surfaces being cooled to surfaces being heated (transitions between the tunnel tube for three lanes and tunnel tube for two lanes) change.



Obr. 13 Vnější prostředí v letním období 2015

Fig. 13 External environment during summer season 2015



Obr. 14 Vnitřní prostředí tunelu před a po spuštění do provozu (9. 10. 2015)

Fig. 14 Internal environment inside the tunnel prior to and after bringing it into service (9th October 2015)

změna příčných profilů, kde dochází ke změnám tlakových, a rychlostních parametrů proudícího vzduchu ve stavbě a především poměru ochlazovaných a oteplovaných ploch (přechody mezi tunelovou troubou pro tři a dva jízdní pruhy).

VNĚJŠÍ PROSTŘEDÍ V MÍSTĚ STAVBY V LETNÍM OBDOBÍ 2015

Současně bylo během letního období roku 2015 opět sledováno vnější klima a jeho vztah k parametrům vnitřního prostředí. Naměřené hodnoty klimatu byly opět extrémní (obr. 13). Nezopakovala se sice neobvyklá vlhkostní situace s extrémními vlhkostními a teplotními hodnotami roku 2014, ale teploty byly opět výrazně vyšší a opět značně překračovaly normové předpoklady.

STAV VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ PO ZAHÁJENÍ PROVOZU

Hypotéza, která předpokládala rozhodující vliv provozu na provětrávání a stav vnitřních konstrukcí podzemní stavby, se potvrdila velmi brzy po zahájení provozu v roce 2015 a v následujícím období. Naměřené hodnoty i vizuální kontroly potvrdily, že pro stav vnitřního prostředí je rozhodující dopravní provoz tunelu, kdy pístový efekt jednosměrného provozu násobně zvýší výměnu vzduchu při stavbě a pozitivně ovlivní povrchové teploty konstrukcí a zabrání tak vzniku kondenzace (obr. 14). Pozitivní vliv na zvýšení vnitřní teploty prostředí i povrchů má vyzařovaný tepelný výkon motorů projíždějících vozidel.

Pokračující monitorování teplot potvrzuje zásadní vliv vnějšího klimatu na vnitřní prostory podzemní stavby. Průběh a rozložení teplot odpovídá s určitým posunem a útlumem hodnotám parametrů vnějšího klimatu. Tento vliv je určující, a zhotovitel stavby má jen omezenou možnost řízeným větráním jeho účinek na stavbu výrazně ovlivnit. Je

EXTERNAL ENVIRONMENT IN THE CONSTRUCTION SITE LOCATION IN SUMMER SEASON 2015

The external climate and its relation to the parameters of the internal environment were monitored concurrently during the summer season 2015. The measured climate values were again extreme (see Fig. 13). Though the humidity situation with extreme humidity and temperature-related values of 2014 was not repeated, the temperatures were again much higher and again significantly exceeded standard assumptions.

INTERNAL ENVIRONMENT CONDITION AFTER OPENING TO TRAFFIC

The hypothesis assuming the decisive influence of traffic on driving air through the tunnel and the condition of internal structures of the underground construction was confirmed very shortly after bringing the tunnel into service in 2015 and during the following period. The measured values as well as visual checks confirmed that the traffic through the tunnel, where the piston effect of unidirectional traffic is crucial for the internal environment condition, multiplying the air exchange during construction and positively affecting the surface temperatures of structures, thus preventing the origination of condensation (see Fig. 14). The positive influence on the increase in the internal temperature of environment and surfaces lies in the heat output of engines of vehicles passing through the tunnel.

The continuing monitoring of temperatures confirms the major influence of external climate on internal spaces of the underground structure. The course and distribution of heat corresponds, with a certain delay and attenuation, to the values of the parameters of the external climate. This influence is decisive and the construction contractor has only a limited possibility of significantly influencing its impact on the

rozhodně nutné s touto možností při zadávání stavby počítat, stejně jako s nutností navrhovat všechna elektrická zařízení umístěná v podzemí s dostatečným krytím.

ZÁVĚRY

Dokumentované zjištění z této rozsáhlé podzemní stavby dovolují formulovat některé zcela obecné závěry.

Základem pro dosažení jakosti rozsáhlé podzemní stavby je podrobné stanovení požadavků (podmínek) na jednotlivé části stavby v závislosti na požadavcích prostředí (parametrech jakosti) a jejich kvalifikované promítnutí do smlouvy o dílo, do návrhu (technického řešení), a také realizačních postupů a časového plánu, vztahů mezi dodávkou stavební části a technologií.

Pro dosažení těchto požadavků je nutné v návrhu i časovém plánu stavby vytvořit podmínky časové, prostorové a technologické.

Ve vztahu k vnitřnímu prostředí podzemní stavby při stavbě pak platí následující:

- Vnitřní prostředí v tunelu, pokud není zlepšováno dostatečně kapacitním větráním (případně temperováním), má stejnou teplotu rosného bodu jako vnější prostředí.
- Během výstavby nelze vyloučit plošnou povrchovou kondenzaci na chladných podzemních konstrukcích (bez nadstandardně dočasně instalovaných zařízení) a nelze garantovat nižší relativní vlhkost povrchů konstrukcí a zařízení než 100 %.
- Podmínky vnitřního prostředí v nedokončené a neprovozované podzemní stavbě mohou být náročnější (horší) než podmínky vnitřního prostředí provozované stavby.
- Výchozí požadavky (parametry) českých technických norem se stále zvyšují a dohánějí měnící se klima s větším množstvím extrémních výkyvů. Skutečné podmínky nad rámec návrhových hodnot nemusí zajistit potřebnou jakost a parametry vnitřního prostředí v dohotovené neprovozované stavbě.
- Teplota a vlhkost ve vnitřním prostředí tunelu úzce souvisí s umístěním stavby v území, s jejím tvarem, podélným profilem a rozložením v terénu.

*Ing. JAN KLEČKA, jan.klecka@metrostav.cz,
Ing. JAROSLAV SYNEK,
jaroslav.synek@metrostav.cz, Metrostav a.s.*

Recenzovali Reviewed: Ing. Pavel Šourek, Ing. Libor Mařík

structure. It is absolutely necessary to take this possibility into account at the time of tendering and take into consideration the necessity for designing sufficient cover for all electrical equipment installed in the underground.

CONCLUSIONS

The documented findings from the large underground construction allow for formulating some totally general conclusions.

The basis for achieving good quality of a large underground structure lies in the detailed determination of requirements (conditions) for individual parts of the structure, depending on the requirements of the environment (quality parameters) and their qualified projection on the works contract, the design (technical solution) and also on realisation procedures and the works schedule, relationships between the delivery of the civil engineering part and technology equipment.

It is necessary for meeting these requirements to establish time, space and technology related conditions in the construction and schedule.

The following conclusions apply to the relation to the internal environment inside the underground structure during the construction:

- The dew point temperature inside a tunnel internal environment is identical with the dew point temperature in the external environment, unless the internal environment is improved by sufficient capacity ventilation (if needed, by heating).
- Surface condensation on cold underground structures cannot be excluded during the construction (without the temporarily installed above-standard equipment) and it is not possible to guarantee relative humidity on surfaces of structures and equipment lower than 100%.
- Conditions of internal environment inside an unfinished and non-operated underground structure can be more demanding (worse) than the conditions of the internal environment inside an operated structure.
- Baseline requirements (parameters) of Czech technical standards continually grow and draw level with the changing climate exhibiting a larger amount of extreme fluctuations. Actual conditions over the framework of design values do not necessarily secure the required quality and parameters of the internal environment in a non-operated structure.
- The temperature and humidity in the internal environment inside a tunnel are closely related with the location of the structure within the area, its shape, longitudinal profile and layout in the terrain.

*Ing. JAN KLEČKA, jan.klecka@metrostav.cz,
Ing. JAROSLAV SYNEK,
jaroslav.synek@metrostav.cz, Metrostav a.s.*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] SATRA s.r.o., Metroprojekt Praha a.s., Pudis a.s., Zadávací dokumentace stavby MO v úseku Myslbekova–Pelc-Tyrolka
- [2] SATRA s.r.o., Koordinační dokumentace postupu výstavby stavební části a montáží technologií staveb MO, Soubor staveb MO v úseku Myslbekova–Pelc-Tyrolka, 01/2012
- [3] JOKL, V. Teorie vnitřního prostředí budov. ČVUT, 2011
- [4] JELÍNEK, V. Difúzní tok a kondenzace vodní páry v konstrukci stěny. Část 1 – Vlhký vzduch a vznik difúzního toku. www.tzb-info.cz
- [5] Český hydrometeorologický ústav. [on-line], <http://www.infomet.cz>
- [6] Archiv klimatických dat Praha 9 Prosek. [on-line], <http://www.in-pocasi.cz>
- [7] Popis příčin vzniku kondenzace a popis klimatu v tunelových troubách a kabelových kanálech. Metrostav a.s., 9/2014
- [8] Měření úrovně hladiny vody v jímkách. Arcadis, 07/2015
- [9] ČSN 12 7010 Z1:2016, Vzduchotechnická zařízení – Navrhování větracích a klimatizačních zařízení – Obecná ustanovení

FOTOREPORTÁŽ Z ČINNOSTI PROJEKTU CESTI

PICTURE REPORT FROM CESTI PROJECT ACTIVITIES



Obr. 1 Workshop CESTI (listopad 2015)
Fig. 1 CESTI Workshop (November 2015)



Obr. 2 Slavnostní otevření mostu s přímo poježděnou mostovkou z vláknobetonu v obci Sázava (červen 2017)
Fig. 2 Ceremonial inauguration of the bridge with the directly run on bridge deck made from fibre reinforced concrete in the town of Sázava (June 2017)



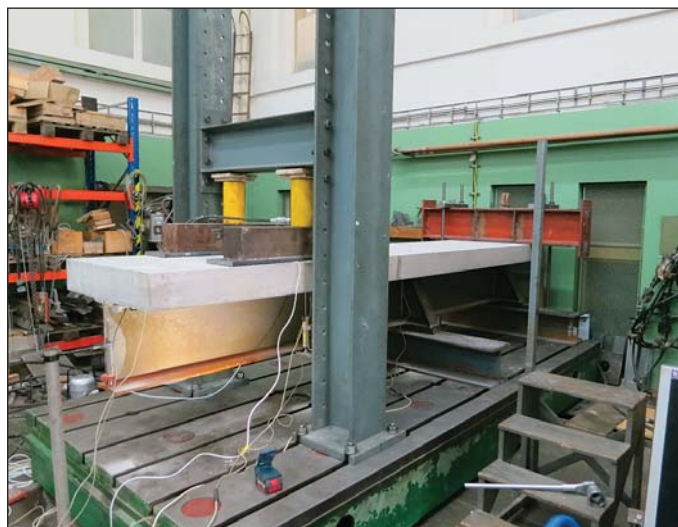
Obr. 3 Výroba vzorků v betonářské laboratoři (květen 2013, neustále probíhá)
Fig. 3 Production of specimens in the concrete laboratory (May 2013, still ongoing)



Obr. 4 Experimenty ve výzkumné štolě Josef
Fig. 4 Experiments in Josef Regional Underground Research Centre



Obr. 5 Zkoušení fragmentu dutinové desky z vysokopevnostního betonu (UHPC)
Fig. 5 Testing of a fragment of the slab made of ultra-high performance concrete (UHPC)



Obr. 6 Zkouška spřaženého nosníku
Fig. 6 Testing of a composite beam



NA SPOLEČNÉ CESTĚ

Patříme k nejvýznamnějším stavebním firmám v České republice, jsme jedničkou v oblasti dopravně inženýrského stavitelství. Své služby nabízíme zákazníkům déle než 60 let. Pověst Skupiny EUROVIA CS stojí na kvalitní, včasné a odborně odvedené práci. Úspěšnou firmu z nás dělají především naši vysoce kvalifikovaní zaměstnanci. Jejich zkušenosti, odborné znalosti a svědomitý přístup ve spojení s tradicí naší společnosti a moderními technologiemi jsou pro nás klíčové.

Kromě silničních a kolejových staveb realizujeme i mosty, sportovní areály, revitalizujeme památková centra a budujeme čistírny odpadních vod nebo městské komunikace. Díky širokému portfoliu činností a celorepublikovému pokrytí dokáže Skupina EUROVIA CS realizovat menší i velké zakázky, ať už se jedná o veřejný, či soukromý sektor. Disponujeme rovněž vlastní surovinovou základnou.





TUNELY A PODZEMNÉ STAVBY 2018

23.-25. 5. 2018 | hotel Holiday Inn, Žilina

www.tps2018.sk | tps2018@guarant.sk



ASSOCIATION
INTERNATIONALE DES TUNNELS
ET DE L'ESPACE SOUTERRAIN

AITES

ITA

INTERNATIONAL TUNNELLING
AND UNDERGROUND SPACE
ASSOCIATION



ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB THE WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

MOZAIKA ZE SVĚTA

■ Nabídky na největší stavební část Brennerského bázevého tunelu

Úsek mezi Phonsem a státní hranicí mezi Rakouskem a Itálií pod Brennerským sedlem je největší uceleně zadávanou stavební zakázkou na stavbě Brennerského bázevého tunelu. Zahrnuje celkem přibližně 50 km ražených tunelů. Mimo tratěvé tunely do zakázky patří 9 km průzkumného tunelu a bezpečnostní stanice St. Jadok včetně křížení tratěvých tunelů. Přijímání nabídek bylo ukončeno 18. dubna 2017. Nabídky podalo pět konsorcií, členem jednoho z nich je i Metrostav a.s., který ji podal společně se společnostmi Impresa Pizzarotti, Implema Österreich a BeMo Tunnelling.

Toto nabídkové řízení bylo dalším milníkem stavby bázevého tunelu, protože nabídkovým řízením už prošlo více než 80 % stavebních prací. Od zahájení stavby před šesti lety v dubnu 2011 bylo do dubna 2017 vyraženo 61 km tunelů, což je přibližně čtvrtina všech ražeb.

■ Zajištění přepravy kamionů výšky až 4 m na železnici ve Švýcarsku

Švýcarské železnice plánují v celé délce dvojkolejné trati zahrnující Gotthardský bázevý tunel zajistit přepravu souprav kamionů výšky až 4 m včetně tahačů. Zahájení přepravy se plánuje v roce 2020. Tento záměr zahrnuje renovaci a zvětšení profilu 11 stávajících tunelů, z toho 4 tunely leží severně a 7 tunelů jižně od bázevého tunelu. Nově budou vyraženy tři tunely – jeden (tunel Bözberg) na severní části trati před Basilejí a dva na jižní části trati.

Ze tří nových tunelů je nejdelší 2,7 km dlouhý tunel Bözberg. Bude ražen souběžně se stávajícím dvoukolejným tunelem, který se po uvedení nového tunelu do provozu stane únikovým a servisním tunelem. S novým tunelem bude propojen pěti propojkami.

Ražba tunelu byla zahájena konvenčně v roce 2016 v měkkých horninách na délku 168 m. Další ražbu obstará tunelovací stroj firmy Herrenknecht o profilu 12,36 m, jehož uvedení do provozu bylo plánováno na květen 2017 a ukončení jeho ražby se předpokládá v roce 2018.

■ Výztuž podzemní stěny ze sklolaminátových tyčí

O náročné stavbě dvou jednokolejných železničních tunelů Rastatt délky 4270 m u Karlsruhe jsme již několikrát informovali, naposledy v Tunelu č. 1/2017. Jedna z dalších mimořádností této stavby se týká výstavby cílových šachet pro prorážku tunelovacími stroji. Pažení šachet zajistí podzemní stěny hloubky až 40 m, jejichž segmenty budou vyztuženy armokoši z betonářské oceli s výjimkou míst prorážky tunelovacích strojů do šachty. V těchto místech se poprvé na stavbách německých železnic pro konstrukci armokošů použily sklolaminátové tyče profilu 32 mm. Jejich aplikace byla povolena jen pro tuto stavbu, případně další využití této výztuže na jiných stavbách je vázáno na vyhodnocení prvního použití.

■ Cena anglické betonářské společnosti udělena betonovému ostění tunelu Lee

Tunel Lee o průměru 7 m dlouhý 6,9 km je součástí nového londýnského kanalizačního systému Thames Tideway (o něm více v Tunelu č. 3/2016), který zabráni šestnácti milionům tun odpadních vod ročně bez čištění odtékat do Temže a do řeky Lee. A právě vnitřní monolitické ostění tohoto tunelu včetně ostění jeho hlubokých šachet obdrželo prestižní cenu britské betonářské společnosti. Navíc je to poprvé v osmačtyřicetileté historii udělování těchto cen, kdy ji získala betonová konstrukce tunelu.

K udělení také přispělo, že samozhutnitelný beton byl vyztužen ocelovými drátky, kterých se spotřebovalo více než 2000 tun, zatímco při

klasickém vyztužení betonářskou ocelí by její množství bylo asi 17 000 tun. Zvolené řešení vedlo k výrazným úsporám nákladů nejen materiálových, ale i k úsporám pracnosti a nákladů na logistiku. Ocelové drátky Dramix 5D vyvinula a dodala firma Bekaert Maccaferri.

■ Lodní tunel Stad v Norsku

Norský plán dopravních staveb na roky 2018 až 2019 zahrnuje také zahájení stavby tunelu Stad určeného pro námořní dopravu. Tunel 1,7 km dlouhý bude mít plochu 1620 m², výšku 49 m a šířku 36 m. Při stavbě se použije metoda Drill and Blast. Jeho proplutím se lodě vyhnou navigačně obtížnému obeplování rozlehlého konce poloostrova, kde většinou moře velmi bouří a o pobřeží se třísť vysoké vlny (přý se tohoto místa báli i Vikingové).

■ Výstavba podzemního hřbitova v Izraeli

Problémy a požadavky společnosti, které řeší podzemní stavitelství, jsou různé – od dopravy, přes vodohospodářství, energetiku, telekomunikace apod. V Izraeli např. již není ve městech na povrchu místo pro rozšiřování hřbitovů, což souvisí s náboženskými i kulturními zvyky jeho obyvatel. Kremace se nepoužívá a s existujícími hroby se nesmí manipulovat nebo je znovu používat pro pohřbívání.

Proto v Izraeli přistoupili k budování podzemního pohřebiště, prvnímu po 1600 rocích. Pilotní projekt byl zahájen pod jeruzalémským hřbitovem. Pomocí frézy na výložníku jsou v jeho rámci vyraženy ve vápenci a dolomitu dva padesátimetrové tunely o šířce 10 m a výšce 6 m, ve kterých bude 400 pohřebních míst. Předpokládá se, že po úspěšném pilotním projektu bude projekt pokračovat ražbou více než 1500 m tunelů (kaveren) maximální šířky 14 m a výšky 16 m. Kapacita této části bude 22 000 pohřebních míst. Kromě klasických kamenných a prefabrikovaných sarkofágů s horní krycí deskou, které může turista vidět na hřbitově na úbočí Olivetské hory, budou vytvářeny také hroby vyvrtané do stěn kaveren mimo místa, kde je skalní hornina tektonicky porušená.

Výstavba konečné podoby pohřebiště bude probíhat nad sebou ve třech úrovních, v každé bude hlavní kaverna (avenue), kterou bude křížovat sedm kolmých tunelů (streets). Pro ostění se použijí kotvy délky 4 až 6 m, stříkaný beton tl. 30 až 40 mm vyztužený ocelovými drátky. V poruchách budou osazeny ocelové sítě. Pro zajištění vodotěsnosti se aplikuje Xypex. Součástí projektu jsou dvě šachty – ventilační s hloubkou 55 m a úniková s navrženou půdorysnou plochou 314 m², která ale bude zvětšena na 670 m², aby v ní mohlo být umístěno 3000 hrobů v patnácti výškových úrovních.

■ Velká oprava vodovodního přivaděče pro New York

Gravitační přivaděč Delaware zásobuje z 50 až 60 % denní spotřeby pitné vody asi 8,5 mil. obyvatel New Yorku. Je dlouhý 137 km a dodnes figuruje v Guinnessově knize rekordů coby nejdelší souvislý tunel na světě. Na své trase podchází řeku Hudson.

A právě na pozemku poblíž jejího břehu bylo v roce 1991 zjištěno zamokření půdy a výrony vody. Vodárenská společnost v té době upravovala vodu dopravovanou přivaděčem proti výskytu řas síranem

mědnatým a ten byl v odebraných vzorcích vody vyvěrající na povrch terénu zjištěn. Protože nikdo další v daném území tuto chemikálii nepoužíval, potvrdilo se, že z přivaděče uniká velké množství vody, které bylo dalšími průzkumy upřesněno na asi 75 milionů litrů vody denně.

Vodovodní přivaděč byl dokončen v roce 1944 a byl tehdy ražen v celkem kvalitních horninách, ale v blízkosti a pod řekou Hudson byl zastižen porušený vápenec. Zvládnout velké přítoky podzemní vody bylo obtížné, ale nakonec se to tehdejšími tuneláři podařilo. Ostění provedli sendvičové, mezi vnější a vnitřní vrstvu betonu vložili kruhovou ocelovou vložku. Jak ukázaly průzkumy prováděné po roce 1991, jedinou chybou bylo, že sendvičové ostění s ocelovou vložkou nebylo provedeno v dostatečné délce, protože asi 95 % ztrátové vody unikalo z přivaděče na koncích sendvičového ostění.

Z dalších průzkumů a podmínek zásobování městské aglomerace pitnou vodou vyplynulo nakonec řešení, jehož podstatnou částí je provedení nového tunelu v délce 3,8 km souběžně se starým přivaděčem v úseku zahrnujícím podchod řeky Hudson a následné propojení na původní přivaděč. Ražbu nového úseku (bypassu) přivaděče zajistí tunelovací stroj Robbins o profilu 6,8 m. Další opatření mají zajistit, aby zásobování vodou nebylo narušeno, když bude přivaděč při propojování mimo provoz. Limitní doba pro tuto operaci byla stanovena na 5 až 8 měsíců a je plánována na rok 2022.

■ Červená trasa metra v Tel Avivu

Tel Aviv je druhé největší město Izraele a počet jeho obyvatel stále roste. Proto městská rada rozhodla o výstavbě sedmi linek lehkého metra. Červená trasa je dlouhá 23 km a zahrnuje stejný počet stanic. Její ražba byla zahájena v únoru 2017, kdy začal pracovat první ze šesti EPB strojů o průměru 7,53 m, které budou nasazeny na této trase a které dodá čínská společnost CREG. První stroj dostal jméno Golda podle křestního jména legendární premiérky izraelské vlády Goldy Meireové. Slavnostního zahájení ražby se zúčastnilo 300 hostů včetně čínského vyslance v Izraeli a izraelského ministra dopravy.

Na trase budou i konvenčně ražené úseky a stanice.

■ Pokrok v zajišťování stability čelby tunelu

Finská firma Robit vyvinula vrtný systém o průměru 76 mm, který zavrtává sklolaminátové injekční trubky místo ocelových. První aplikace tohoto systému byla na železničním tunelu ve Švýcarsku, při jehož ražbě byl používán injektovaný mikropilotový deštník délky 15 m o průměru trubek 159 mm, a přesto čelba vykazovala značnou nestabilitu. Proto byly do čelby vodorovně zavrtávány sklolaminátové injekční trubky profilu 76 mm na délku 20 až 21 m. Jejich úkolem bylo zajistit nejméně 8 m horninového masivu za vyraženým záběrem.

Zjistilo se, že sklolaminátové kotvy jsou i výhodnější než samozavrtané ocelové kotvy z hlediska směrové odchylky.

Ing. MILOSLAV NOVOTNÝ,
mila_novotny@volny.cz

ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ

NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCES

SVĚTOVÝ TUNELÁŘSKÝ KONGRES 2017 WORLD TUNNEL CONGRESS 2017

This year's World Tunnel Congress was held in Norwegian Bergen on 9th through to 15th June. It was organised by the international ITA-AITES jointly with the Norwegian Tunnelling Society NFF. The 43rd ITA-AITES General Assembly was a traditional part of the Congress. The Congress was attended by over 1500 delegates from a range of fields – professionals from the practice, academicians, civil engineers and many others. The Congress opening event was held in a very ceremonial spirit – His Royal Highness, Crown Prince Haakon Magnus of Norway took the opening speech. Speeches of the President of the ITA-AITES, Tarcisio Celestino, and others followed. During the Congress, 120 papers were presented, 340 papers were published, the delegates could attend sessions of Working Groups, seminars and view the posters prepared.

ZAHÁJENÍ KONGRESU

Letošní světový tunelářský kongres se konal v norském Bergenu ve dnech 9. – 15. června, pořadateli byla světová organizace ITA-AITES spolu s Norskou tunelářskou asociací NFF. Jeho tradiční součástí bylo 43. valné shromáždění ITA-AITES. Zúčastnilo se více než 1500 delegátů z řady oblastí – odborníků z praxe, akademiků, stavebních inženýrů a řady dalších.

Zahájení kongresu se uskutečnilo ve velmi slavnostním duchu – úvodního proslovu se ujala jeho královská výsost korunní princ norský Haakon Magnus. Poté promluvil prezident ITA-AITES Tarcisio Celestino a další.

Během kongresu zaznělo 120 přednášek, bylo publikováno 340 příspěvků, delegáti mohli navštívit setkání pracovních skupin, pořádané semináře a prohlédnout si připravené postery.

Během kongresu bylo konstatováno, že ekonomické trendy v oblasti podzemních staveb byly v roce 2016 skvělé a lze očekávat pokračování této výtečné situace i v dalších letech. Nejsilnějším trhem v tomto segmentu je střední východ, Čína reprezentuje dokonce 50 % světového trhu v této profesi. Je smutné, že podobné trendy vůbec neplatí pro ČR.

„MUIR WOOD LECTURE“

Volba přednášky „Muir Wood lecture“ (přednáška na počest Sira Alana Muir Wooda, významného odborníka z oboru podzemních staveb a prvního prezidenta ITA) padla tento rok na prof. Hakana Stilleho z Royal Institute of Technology ze Stockholmu. Byla na téma *Geologické nejistoty v tunelování – hodnocení rizika a řízení kvality*. Ve své přednášce zdůraznil nutnost adaptace různých standardů tak, aby vyhovovaly podzemnímu stavitelství.

„OPEN SESSION“

Letošní „Open Session“ měla za téma „*Přehodnocení velkých infrastrukturních projektů – nový pohled na řešení podzemí a jeho přijetí veřejností*“. Celkem sedm vystupujících seznámilo posluchače s různými tunelovými projekty, tentokrát nejen z pohledu technických a finančních aspektů, ale byla také diskutována otázka významu přijetí projektu veřejností, jak docílit pozitivního pohledu okolí na tyto velké projekty.

TUNELÁŘSKÉ ODPOLEDNE 2/2017

TUNNEL AFTERNOON 2/2017

The second Tunnel Afternoon was held on 24th May 2017. The event was dedicated to two circles of lectures – *Tunnels on the D3 motorway* and *The new metro line D*. The total of five lectures were presented in the first part of the afternoon. The first lecture containing basic information about the preparation of this important construction project was delivered by Ing. Marek Svoboda (chairman of the board of directors of PRAGOPROJEKT, a.s.). Ing. Michal Hnilička (PRAGOPROJEKT, a.s.) continued, speaking about the topic of designing the D3 motorway alignment across Central Bohemia. In his contribution, Ing. Jiří Svoboda (PRAGOPROJEKT, a.s.) dealt with the selection of the cross-section for motorway tunnels and with amendments to regulations. Ing. Pavel Menger (PRAGOPROJEKT, a.s.) described in his lecture individual tunnel structures on the D3 in more detail. The first part was concluded by Ing. Vlastimil Horák (AMBERG Engineering Brno, a.s.) with his lecture on Technical equipment and management of tunnels. The second part of the afternoon was opened by Ing. David Krása (general director of METROPROJEKT Praha a.s.), who acquainted the audience with the long history of the preparation of a new metro line in Prague, the Line I D (the first operating section of the Line D). The following lecture by Ing. Jiří Růžička was dedicated to mined stations on the metro line I D in more detail. Conversely, Ing. Ludmila Pánková focused her lecture to the stations on the metro line I D constructed from the surface. Bc. Tomáš Urbánek dedicated his lecture to Náměstí Bratří Syнкů station, which is located in the most complicated place of the whole line D as far as the foundation conditions and technological demands of construction are concerned. The Tunnel Afternoon was concluded by Ing. Miroslav Novák, informing about the technical equipment proposed for the metro line I D. All lecturers in the second part were from the company of METROPROJEKT Praha a.s.

Druhé Tunelářské odpoledne, které se konalo 24. května 2017, mělo podobný formát jako to první, opět byly naplní dva okruhy přednášek – *Tunely na D3* a *Nová trasa metra D*. Tunelářské odpoledne zahájil předseda České tunelářské asociace ITA-AITES Ing. Ivan Hrdina.

Část o tunelech na středoevropské části D3 koordinoval Ing. Michal Hnilička (PRAGOPROJEKT, a.s.). V této části zaznělo pět přednášek. Jako první vystoupil Ing. Marek Svoboda (předseda představenstva společnosti PRAGOPROJEKT, a.s.) se základními informacemi o přípravě této významné stavby. Další přednášku připravila Ing. Lucie

43. VALNÉ SHROMÁŽDĚNÍ

Valné shromáždění mělo svůj ustálený program. Byl zveřejněn výsledek hospodaření za období 2016/2017, návrh rozpočtu 2017/2018. Byl přijat nový 74. člen ITA-AITES – Nigérie. Dále proběhly volby na uvolněné pozice v předsednictvu – byli zvoleni Arnold Dix, Lars Babendererde a Randall Essex.

Asi nejvíce očekávaným bodem programu valného shromáždění byla volba místa konání WTC 2020. Přihlásili se celkem tři kandidáti – Austrálie, Indie a Malajsie. V prvním kole byla vyřazena Indie, protože získala jen 4 hlasy z celkem 49 přítomných a 3 korespondenčních hlasů. Protože nikdo nezískal v prvním kole nadpoloviční většinu, muselo se konat i druhé kolo voleb, kdy Austrálie získala 22 hlasů a vítězná Malajsie 30 hlasů. WTC 2020 se tedy uskuteční v malajském Kuala Lumpur.

Také byla ustanovena nová pracovní skupina – 22 WG – Informační modelování v tunelářství – BIM. Vedoucím pracovní skupiny se stal Dr. Jurij Karlovsek.

WTC 2017 proběhlo s velkým úspěchem a zájemci se mohou těšit na další kongres, který se bude konat příští rok v Dubaji.

Ing. MARKÉTA PRUŠKOVÁ, Ph.D., pruskova@ita-aites.cz,
sekretář CzTA ITA-AITES, z. s.

Jandíková (ŘSD ČR), ale z důvodu její časové zaneprázdněnosti téma prezentoval Ing. Michal Hnilička. Podle předneseného by měla být výstavba středočeské části dálnice D3 započata v roce 2024 a do provozu by měla být uvedena v roce 2028. Stavba je dělena na pět částí: Praha – Jílové u Prahy, Jílové – Hostěradice, Hostěradice – Václavice, Václavice – Voračice a Voračice – Nová Hospoda. Celkem se jedná o úsek dlouhý 58,4 km, který bude uveden do provozu jako celek.

Ing. Michal Hnilička přednesl za nepřítomného kolegu téma trasování dálnice D3 přes střední Čechy – na prvních čtyřech úsecích zmíněných v předchozí přednášce má vzniknout 6 meziúrovňových křižovatek, 5 velkých a 18 menších mostů, 7 nadjezdů nad D3, 2 přespané migrační mosty a z hlediska tunelářů nejdůležitější údaj – 7 tunelů, z toho 1 hloubený a 6 ražených.

Ing. Jiří Svoboda (PRAGOPROJEKT, a.s.) se ve svém příspěvku věnoval volbě příčného profilu dálničních tunelů a novelizaci předpisů. Zdůvodnil, proč je použit v navrhovaných tunelech příčný profil T9,5. Jedná se především o zvýšení komfortu a bezpečnosti uživatele komunikace – tunel nesmí být překážkou na trase vzhledem k nutnosti provádění pravidelné údržby i možnosti vzniku mimořádných událostí. Tento profil poskytuje také více prostoru pro umístění technologického vybavení na boky tunelu, což umožňuje provádění údržby při menším omezení dopravy v tunelu. Především je ale tunel navrhován na životnost 100 let a není reálně možné provést jeho dodatečné rozšíření (na rozdíl od navazujících úseků dálnice), lze pouze provádět výměnu technologického vybavení. Jednotlivé postřehy podnítily rozsáhlou diskusi, která pokračovala i po skončení všech přednášek.

Ing. Pavel Menger (PRAGOPROJEKT, a.s.) popsal ve svém příspěvku jednotlivé tunelové stavby na D3 podrobněji – seznámil přítomné s projekčními společnostmi, které měly na starosti projekty jednotlivých tunelových staveb, a především s jednotným řešením všech tunelů a souvisejících objektů. Promítl příčné řezy hloubeného a raženého tunelu, tunelových propojek a půdorys jednotného provozně-technického objektu. Posléze se podrobně věnoval jednotlivým tunelům – hloubenému tunelu Libeň (1500 m) a raženým Kamenná Vrata (1690 m), Luka (1872 m), Hostěradice (360 m), Vršky (120 m), Krňany (415 m) a Prostřední Vrch (964 m).

První část zakončil Ing. Vlastimil Horák (AMBERG Engineering Brno, a.s.) s přednáškou Technologické vybavení a řízení tunelů, ve které popsal především systém řízení všech navrhovaných tunelových staveb z nově vybudovaného SSÚD Netvořice. Dále pak možnosti objízdných tras při uzavření tunelů, kdy jedinou kapacitní objízdnou trasou je stávající úsek dálnice D1 a I/3 na Benešov.

Druhou část moderoval Ing. Miroslav Novák (METROPROJEKT Praha a.s.). Ing. David Krása (generální ředitel společnosti METROPROJEKT Praha a.s.) seznámil posluchače s dlouhou historií přípravy nové trasy metra I.D v Praze. První nástin této trasy se nachází již ve studii z roku 1972. Její celková délka by měla být 10,6 km a je plánována výstavba deseti stanic. Nakonec byl vybrán dopravní systém s automatickým provozem. Lze doufat, že stavba bude zahájena v roce 2018. Jako první by měl být zprovozněn úsek Pankrác – Depo Písnice.

Následná přednáška Ing. Jiřího Růžičky se podrobněji věnovala ražným stanicím na trase metra I.D, kde jsou navrženy jednoduché stanice Pankrác, dvoulodní stanice Olbrachtova, jednoduché stanice Nové Dvory a Náměstí Míru. Ing. Ludmila Pánková se naopak věnovala stanicím metra I.D prováděným z povrchu – stanici Nádraží Krč, která je jedinou povrchovou a částečně i nadzemní stanicí trasy a je zčásti umístěna na mostě, dále se jedná o stanice Nemocnice Krč, Libuš, Písnice a poslední Depo Hostivař, která je dlouhodobě plánována jako koncová.

Bc. Tomáš Urbánek (METROPROJEKT Praha a.s.) věnoval svou přednášku stanici Náměstí bratří Synků, nejsložitějšímu místu z hlediska

základových poměrů a technologické náročnosti výstavby z celé trasy D. Protože nebude možné provést demolici objektu, pod kterým je stanice navržena a stanice není v takové hloubce, aby ji bylo možné vyrazit běžnými metodami, bude se volit mezi několika variantami, např. protlačováním tunelem, popř. se zajištěním stropu ocelovými trubkami, ražbou pod ochranou ocelových trubek a dalšími. Přednášející porovnával jednotlivé varianty z hlediska doby výstavby, nákladů, obtížnosti technologie, rizika pro okolní objekty a dalších.

Tunelářské odpoledne zakončil Ing. Miroslav Novák informacemi o navrhovaném technologickém vybavení metra I.D, technologii dopravního systému CBTC (Communication-Based Train Control, tj. automatický zabezpečovací a řídicí systém trati a stanic) a technologických zařízeních stavby.

Celkem se Tunelářského odpoledne zúčastnilo přibližně 120 posluchačů. Většina prezentací je umístěna na webových stránkách CzTA www.ita-aite.cz.

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

EUROCK 2017 EUROCK 2017

EUROCK 2017, the international symposium of the International Society for Rock Mechanics (the ISRM), took place in Ostrava on 20th through to 22nd June 2017. The symposium was organised by the ISRM National Group of the Czech Republic and the Institute of Geonics of the Academy of Sciences of the Czech Republic. The main symposium theme was focused on human activities in rock mass. The ISRM is the largest international professional society in the field of rock mechanics, associating more than 8000 members from 60 member countries around the world. EUROCK symposia are European conferences of this society, which are held always in another country (the first one in Great Britain in 1992; in the Czech Republic for the first time in Brno in 2005). The conference themes and the registered papers covered the whole range of fields of the rock mass use, ranging from laboratory testing of rocks up to practical applications in the surface and underground use of rock mass, both in the field of extraction of raw materials and the field of the underground construction industry. The symposium was attended by 250 delegates from 39 countries around the world, who published 152 papers in the conference proceedings. Each paper was reviewed by two independent reviewers specialised on topics from the fields of properties of rock, laboratory and in-situ testing of rocks, designing of underground structures, dynamic phenomena in rock mass, methodological procedures for designing underground workings in the mining and underground construction industries, geothermal energy, rock disintegration and new materials and technologies in the rock engineering.

Mezinárodní symposium Mezinárodní asociace mechaniky hornin (International Society for Rock Mechanics) – EUROCK 2017 se ve dnech 20. až 22. června 2017 uskutečnilo v Ostravě. Pořadatelem symposia byla Česká národní skupina ISRM a Ústav geoniky Akademie věd České republiky. Hlavním tématem symposia byla činnost člověka v horninovém masivu.

ISRM je největším mezinárodním profesním sdružením v oblasti mechaniky hornin, které sdružuje více než 8000 členů z 60 členských zemí po celém světě. Symposia EUROCK jsou evropské konference této společnosti, konající se pokaždé v jiné zemi (první v roce 1992 ve Velké Británii, v ČR poprvé v roce 2005 v Brně).

Témata konference a přihlášené příspěvky obsáhly celou širokou škálu oblastí využití horninového masivu od laboratorního testování hornin až

po praktické aplikace při povrchovém i podzemním využití horninového masivu jak v oblasti těžby surovin, tak v oblasti podzemního stavitelství.

Pořadatelé zvolili netradiční místo pro uspořádání konference, a to multifunkční auditorium GONG v Dolní oblasti Vítkovic, které doplnili pro účely společenského večera o prostory kongresového hotelu Clarion.

Symposia se zúčastnilo 250 delegátů ze 39 zemí celého světa, kteří ve sborníku konference publikovali 152 článků recenzovaných dvěma nezávislými recenzenty na témata z oblasti vlastností hornin, testování hornin v laboratoři a in-situ, projektování podzemních děl, dynamických jevů v horninovém masivu, metodických postupů pro projektování podzemních děl v hornictví i podzemním stavitelství, geotermální energie, desintegraci hornin i nových materiálů a technologií v horninovém inženýrství. Všechny akceptované články byly publikovány v časopise *Procedia Engineerig* z vydavatelství Elsevier, který je věnován excelentním konferencím, a zdarma jsou dostupné na www.sciencedirect.com/science/journal/18777058/191.

Klíčové přednášky přednesli významní odborníci v oblasti mechaniky hornin, členové ISRM:

Prof. Heinz Konietzky (TU Bergakademie Freiberg & Senior Consultant ITASCA, Germany) na téma Simulation of Hydraulic Fracturing.

Prof. Frederic Pellet (MINES ParisTech – PSL Research University, France) na téma Rock Mechanics meeting the challenge of geo-energies.

Dr. Jiří Ptáček (Institute of Geonics of the Czech Academy of Sciences, Czech Republic) na téma Rockbursts in hardcoal mining in the Czech Part of the Upper Silesian Coal Basin.

Prof. Walter Wittke (CEO of WBI - Prof. Dr.-Ing. W. Wittke Beratende Ingenieure für Grundbau und Felsbau GmbH, Weinheim, Germany) na téma Design based on the Anisotropic Jointed Rock Model (AJRM).

Prof. Arno Zang (GFZ – German Research Centre for Geosciences, Germany) na téma Fatigue Hydraulic Fracturing.

Dr. Marwan Al Heib (INERIS, France) na téma Pillar Burst Assessment Based on Large-Scale Numerical Modeling.

*doc. Ing. PETR KONÍČEK, Ph.D.,
ISRM Viceprezident et Large,
Prezident České národní skupiny ISRM*

SWISS TUNNEL CONGRES 2017 V LUZERNU SWISS TUNNEL CONGRES 2017 IN LUZERN

The Swiss Tunnelling Society (the FGU) held the traditional Swiss Tunnel Congress (the STC) from 30th May to 1st June 2017. The congress programme commenced by the Colloquium with the main focus on "Rehabilitation and Upgrades of Transport Tunnels". The all-day

congress took place on the second day. Technical excursions to underground construction sites in Switzerland were organised on Thursday. The attendance at this congress exceeds 800 guests as a standard; the colloquium was attended by ca 350 guests. Even though it is a national

Swiss congress, it was attended as usual by around a hundred foreign delegates.

V o něco dřívějším termínu než obvykle (30. 5. 2017 až 1. 6. 2017) uspořádala švýcarská tunelová asociace FGU (Fachgruppe für Untertagbau) v Kongresovém a kulturním centru Luzernu tradiční švýcarskou tunelářskou konferenci (STC). Standardní program konference byl zahájen kolokviem s hlavním tématem „*Údržba a obnova dopravních tunelů*“. Vzhledem k velkému množství starých železničních tunelů, které se průběžně obnovují a rekonstruují, se ve Švýcarsku již vžil pojem „Normalbauweise Tunnel“, který představuje pro švýcarské dráhy již klasické sanační, ale přitom velmi specifické postupy. Jde o rozšiřování světlého profilu, výměnu kolejového lože (obvykle pevná jízdní dráha) a kompletní elektromechanické vybavení. Charakteristické je masivní použití tenkovrstvých vysoce kvalitních stříkaných vláknobetonů, stříkané izolace, polymerbetonových prefabrikátů a další specifika, jako například sanace za provozu pouze při dílčích výlukách, z prostorových důvodů prakticky žádné nebo pouze minimalistické zařízení staveniště, nezbytná nutnost perfektně zvládnuté logistiky atd. V rámci odpoledního kolokvia bylo prezentováno celkem sedm odborných přednášek.

Ve středu pak proběhla standardní celodenní konference a ve čtvrtek byly organizovány odborné exkurze na podzemní stavby ve Švýcarsku. Účast na této konferenci běžně přesahuje 800 návštěvníků, kolokvia se letos zúčastnilo cca 350 návštěvníků. Přestože jde o národní švýcarskou konferenci, zúčastnilo se jí jako obvykle kolem stovky zahraničních delegátů, převážně z německy mluvících zemí (Rakousko a Německo). Z České republiky pak jenom dva a ze Slovenska čtyři.

Dopoledními tématy sedmi přednášek byly jako obvykle výhradně švýcarské stavby a projekty. Za zmínku stojí určité právě zahájená výstavba třetí tunelové trouby **tunelu Gubrist** na severním obvodu Zürichu (<http://www.nordumfahrung.ch/verkehrsinformationen/webcams/westportal-des-gubristtunnels-blickrichtung-st-gallen/>), nebo probíhající výstavba železničního dvoukolejného **tunelu Eppenberg** za účelem dosažení plně čtyřkolejného (!) provozu na trati Zürich – Bern, kde denně jezdí 550 vlaků. Zajímavostí je nasazení multimodální TBM – otevřená TBM do skalních hornin a od staničení 1750 tm v délce 670 m jako hydroštit. Více též na <https://www.youtube.com/watch?v=5Mgqiwaia7w>.

Tzv. **sanační tunel Belchen** dl. cca 3,2 km se nachází na dálnici A2 mezi Basilejí a Egerkingenem. Třetí sanační tunelová trouba stejné délky bude sloužit pro převedení dopravy během sanace dvou původních tunelových trub z roku 1970. Převážná část všech tří tunelových trub je vyražena v bobtnavých horninách (anhydrity, sádrovice, bobtnavé jíly), které způsobily vážná poškození stávajících tunelů. Sanační tunel je ražen od roku 2016 pomocí největšího TBM doposud použitého ve Švýcarsku (průměr 14 m), letos bude ražba dokončena. Bezprostředně za TBM je betonováno sekundární ostění tloušťky až 75 cm, spodní klenba 140 cm (230 kg výztuže na 1 m³), tubingy jsou tlusté 35 až 45 cm, je užitá tlaková uzavřená mezilehlá izolace. Kompletní sekundární ostění musí být v tlačivých horninách (anhydrit) hotové vždy max. do čtyř měsíců po osazení tubinků primárního ostění. Podrobnosti na <http://www.belchentunnel.ch>.

Tunnel Riedberg je součástí dálnice A9. Před více než 10 lety musela být zastavena ražba kvůli naměřeným deformacím a sesuvům na povrchu nad tunelem. Náročná a výjimečná technická opatření zabezpečující sesuvné území nad tunelem zajišťují potřebnou životnost tunelu. Opětovně zahájení ražby bylo teprve na jaře 2017.

Schlossparking Thun v kantonu Bern je ukázkou koncepčního přístupu města Thun k dopravě v klidu, tedy parkování nejen obyvatel, ale i turistů v historickém centru města. Pod Zámeckým vrchem vznikne do konce roku 2018 podzemní ražené čtyřpodlažní parkoviště o kapacitě cca 300 osobních vozidel. Kaverny jsou raženy frézou bez trhacích prací ve slepencích, pís-kovcích a jílovcích. Součástí bude šachta se schodištěm a výtahem do areálu zámku a štolu pro pěší vyústěná do pěší zóny historického jádra města. Jediný přístup do podzemí pro vozidla stavby je příjezdovým tunelem ze zařízení staveniště uprostřed města (bylo povoleno zbourat jeden dům cca 120 m² a zabrat cca 50 dlouhý jeden jízdní pruh na ulici). Investiční náklady jsou nepřekročitelných 45 mil. CHF (1,1 mld. CZK) a představují 150 000 CHF na jedno stání (cca 3,75 mil. CZK/stání). Cena parkování se předpokládá cca 2 CHF/hod (tj. cca 50 CZK/hod.), návratnost investice cca 20 až 25 let. Nepřekročitelnost investičních nákladů je dána způsobem vypsání soutěže, kdy bylo v zadání pouze místo, předpokládaná minimální kapacita a přístupové cesty pro auta a pro pěší. Kompletní technické a architektonické řešení, výsledná kapacita a výsledná cena realizace byly ponechány plně na zhotovitelích. Virtuální prohlídku výstavby podzemního parkoviště lze absolvovat i na webu https://spectando.com/tour326829499?scene=scene_d01f60d6-57c7-4d54-955a-2a035971c810.

Albulatunnel v kantonu Graubünden je nový jednokolejný (rozchod 1,0 m) a 5860 m dlouhý železniční tunel, ražený souběžně s původním tunelem z roku 1903 (památká UNESCO), který bude po uvedení nového tunelu do provozu sloužit jako úniková cesta. Důvodem ražby nového tunelu je nemožnost sanace stávajícího tunelu za provozu a nemožnost dlouhodobějšího uzavření této tratě. Tunel minimalistického profilu pro úzkorozchodnou železnici je ražen klasicky konvenčně za pomoci thavin v bezproblémových granodioritech a částečně vápencích. V celé délce tunelu je pouze na přechodu mezi uvedenými horninami cca 110 m problematických (drcené dolomity, mylonity – velmi pórovité, jemnozrné, cca 100 m pod hladinou podzemní vody). Tento úsek se aktuálně ráží pod ochranou zmrazování. V roce 1901 byl v tomto úseku při ražbě velký zával s několika mrtvými. Ostění původního tunelu v tomto úseku je vyzděno z bloků zde vytěženého granodioritu v tloušťce cca 1,20 m včetně spodní klenby.

Na závěr dopoledního bloku byly podrobně prezentovány příčiny havárie městského archivu v Kolíně nad Rýnem z roku 2009 v důsledku prolomení jediné špatně provedené lamely milánských stěn.

V odpoledním bloku opět sedmi přednášek byly prezentovány stavby a projekty z celého světa. Podzemní přečerpávací elektrárny Hongrin Léman Plus a Handeck 2, Alaska tunnel v Seattlu (TBM 17,48 m), železniční Semmering Basis Tunnel v Rakousku, Follo Bana tunel (nejdelší žel. tunel v Norsku) a rovněž použití metody BIM v praxi na příkladu Alvorlandtunelu v Německu.

Přednáší se převážně německy, ale také anglicky a francouzsky a k dispozici je naprosto bezchybné odborné simultánní tlumočení v uvedených jazycích. Závěr hlavního konferenčního dne představuje tradičně kulinářský zážitek – večeře v luxusním hotelu Schweizer Hof.

Odborné exkurze v třetím dnu konference jsou vždy tradičně perfektně organizovány. V letošním roce byly na výběr následující a již výše popsané stavby ve Švýcarsku – tunel Riedberg, sanační tunel Belchen, tunel Eppenberg, podzemní parkoviště v Thunu a tunel Albula.

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

AKTUALITY Z PODZEMNÍCH STAVEB V ČESKÉ A SLOVENSKÉ REPUBLICE CURRENT NEWS FROM THE CZECH AND SLOVAK UNDERGROUND CONSTRUCTION

ČESKÁ REPUBLIKA

MODERNIZACE TRATI ROKYCANY – PLZEŇ

Po překonání pasáží měkkých hornin s nízkým nadloží dospěla ražba severní tunelové trouby v průběhu měsíce května do prostředí velmi tvrdých spilitů, kterými je vrchol Chlum, kde se razičí stroj právě nachází, z valné většiny tvořen. Pro toto prostředí byla Viktorie, jako konvertibilní razičí stroj, ve druhé polovině

THE CZECH REPUBLIC

MODERNISATION OF ROKYCANY – PLZEŇ RAILWAY TRACK SECTION

After passing along soft ground sections with a low overburden, the northern tunnel tube excavation reached during May the environment formed by the very hard spilites the vast majority of the top of Chlum

května přestrojena do tzv. skalního režimu. V tomto režimu není rubanina těžena z odtěžovací komory šnekovým dopravníkem, ale je z řezné hlavy skrze násypku transportována přímo na pásový dopravník. Z této pasáže prostředím skalních hornin, jejichž pevnost místy přesahuje i 200 MPa, už bylo vyraženo 400 m a tak již zbývá do prorážky severní tunelové trouby jenom posledních 650 m.

Souběžně s ražbou severní tunelové trouby probíhá i ražba propojek mezi již vyraženou jižní a raženou severní troubou. Tato ražba je realizována podle zásad NRTM s tím, že profil je horizontálně členěn na kalotu, opěří a dno. Hornina je rozpojována jak strojně, tak i pomocí trhacích prací. Do dnešního dne byly vyraženy propojky č. 1, 2, 6 a další razičské práce v tuto chvíli pokračují na propojkách č. 3 a 4. Ihned po prorážkách těchto propojek se provádí jejich mezilehlá izolace a následně i betonáž sekundárního ostění.

V jižní tunelové troubě se dokončuje i betonáž tunelového dna jako příprava základu budoucího železničního spodku a svršku.

*Ing. BORIS ŠEBESTA, boris.sebesta@metrostav.cz,
Metrostav a.s.*

KOLEKTOR HLÁVKŮV MOST

Jedná se o výstavbu nového kolektoru, kterou zajišťuje sdružení firem Subterra a.s. a HOCHTIEF CZ a. s. pro zadavatele Magistrát hl. m. Prahy. Jeho výstavba byla vyvolána nutností rekonstrukce Hlávkova mostu, jejíž zahájení je podmíněno kompletním dokončením a zprovozněním kolektoru Hlávkův most, aby mohly být před zahájením rekonstrukce mostu přeloženy veškeré inženýrské sítě vedené nyní v mostní konstrukci Hlávkova mostu do tohoto nového kolektoru. Výstavba kolektoru probíhá na ostrově Štvanice, pod Vltavou a na obou jejích březích. Po svém dokončení propojí stávající kolektor na nábreží L. Svobody na těšnovské straně s kolektorem na severním holešovickém předmostí Hlávkova mostu. Výstavbou tohoto kolektoru dojde k významnému posílení kolektorové sítě v centru našeho hlavního města. Délka ražených úseků hlavní trasy kolektoru včetně komor představuje cca 413 m, celková hloubka čtyř šachet s kruhovým profilem 8 m je cca 130 m. Součástí výstavby je i hloubená odbočná větev z J103 na ostrově Štvanice v délce cca 100 m.

Počátkem července byly dokončeny ražby technické komory TK101 u jámy J101 s plochou výrubu více než 70 m². V současné době (polovina července 2017) se provádějí ražby hlavní kolektorové trasy v celé její délce. V úseku mezi jámami J101 a J102 probíhá z J102 ražba kaloty kolektoru razičím stroje Alpine AM50 s frézou na výložníku, do její prorážky zbývá cca 26 m. V úseku J102–TK103 byla ražba kaloty ukončena již koncem dubna, k dokončení ražby spodní lávky zbývá v době psaní příspěvku cca 15 m. V úseku TK103–J104 se provádí ražba kaloty, na tomto úseku je nyní vyraženo 80 m v kalotě a 22 m spodní lávky. Jámy J101, J102 a J103 jsou v podstatě dohloubeny, v současné době probíhá hloubení pouze na jámě J104 umístěné na holešovickém předmostí Hlávkova mostu, na které je k v současnosti vyhloubeno cca 15 m. V úsecích hlavní kolektorové trasy J102–TK103 a TK103–J104 je ražba prováděna pomocí trhacích prací (vč. hloubení J104). Od poloviny července byly zahájeny práce na propojení šachty J101 s kabelovodem vedoucím přes Hlávkův most, jehož součástí je též kabelová komora KK1 a propoj šachty J101 se stávajícím kolektorem nábreží Ludvíka Svobody. Na hloubené odbočné větvi vedoucí od šachty J103 pod obloukem Hlávkova mostu k tenisovému stadionu byly provedeny izolace a betonáže definitivního ostění všech tří dilatačních úseků a nyní se dokončují zásypy.

*Ing. VÁCLAV DOHNÁLEK, Subterra a.s.,
Ing. RADEK KOZUBÍK, HOCHTIEF CZ a. s.*

SLOVENSKÁ REPUBLIKA

TUNELY NA DIAČNICNEJ SIETI

Tunely Poľana a Svrčinovec

Na stavbe úseku diaľnice D3 Svrčinovec – Skalité (obr. 1) súčasťou stavby sú aj tunely Poľana (890 m) a Svrčinovec (445 m), ktoré sa realizovali ako jednorúrovňové s obojsmernou prevádzkou a samostatnou únikovou štôľňou.

Hill where the TBM is just located consists of. The re-fit of the convertible Viktorie TBM to the hard-rock mode was done for this environment during the second half of May. In this mode muck is not extracted from the extraction chamber with a screw conveyor. It is transported from the cutterhead through a hopper directly to the belt conveyor. A 400m long section of the excavation passing through this hard rock environment (the strength locally exceeding 200MPa) has been finished, therefore the last 650m long section remains to be carried out before the northern tunnel tube breakthrough.

The excavation of cross passages between the already completely excavated southern tunnel tube and the northern tunnel tube is being carried out concurrently with the excavation of the northern tunnel tube. The cross passages are driven according to the NATM principles, with the excavation divided into the top heading, bench and bottom sequences. The rock is disintegrated both mechanically and using blasting operations. To this day, the excavation of cross passages No. 1, 2 and 6 has been finished and other tunnelling work at the moment continues on cross passages No. 3 and 4. The intermediate waterproofing is installed and the subsequent concreting of the secondary lining is carried out in these cross passages immediately after they are broken through.

In the southern tunnel tube, the concrete tunnel bottom is being finished as a part of the preparation for the foundation of the future road bed and trackwork.

*Ing. BORIS ŠEBESTA, boris.sebesta@metrostav.cz
Metrostav a.s.*

HLÁVKŮV BRIDGE UTILITY TUNNEL

The project comprises the development of a new utility tunnel provided by a consortium of companies consisting of Subterra a.s. and HOCHTIEF CZ a. s., for the employer, the Prague City Hall. The project was brought about by the necessity for the reconstruction of the Hlávkův Bridge, the commencement of which is conditioned by complete finishing and bringing into service the Hlávkův Bridge Utility Tunnel so that all utility networks running currently along the Hlávkův Bridge structure can be relocated to the new utility tunnel prior to the commencement of the bridge reconstruction. The utility tunnel is constructed on Štvanice Island, under the Vltava River and on both river banks. After its completion it will interconnect the existing utility tunnel on the L. Svobody Embankment on the Těšnov side with the utility tunnel at the northern Holešovice-side head of the Hlávkův Bridge. By the construction of this utility tunnel the network of utility tunnels in the centre of our capital will be significantly strengthened. The length of the mined sections of the main route of the utility tunnel including chambers amounts to ca 413m; the aggregated depth of four 8m-diameter circular profile shafts is ca 130m. The ca 100m long cut-and-cover branch leading from shaft J103 on Štvanice Island is also part of the construction.

The underground excavation of technical chamber TK101 near shaft J101 with the excavated cross-sectional area of over 70m² was finished at the beginning of July. At the moment (the middle of July 2017) the main route of the utility tunnel is being driven throughout its length. In the section between shafts J101 and J102 the tunnel top heading is being driven using an Alpine AM50 cutter boom machine; ca 26m remain to the breakthrough. In the J102 – TK103 section the top heading excavation was finished already at the end of April; as of this day, ca 15m of the bench excavation remain to the completion. In the section between TK103 and J104, the top heading excavation continues; in this section the excavation of 80m of the top heading and 22m of the bench has been finished. The sinking of shafts J101, J102 and J103 has been in substance finished. At the moment the sinking of shaft J104 located at the Holešovice-side head of the Hlávkův Bridge remains to the completion; as of today, ca 15m of the shaft depth have been finished. In sections J102–TK103 and TK103–J104 of the main route of the utility tunnel, the tunnel excavation is carried out by means of blasting (including the excavation of shaft J104). From mid-July, the work will start on the interconnection between shaft J101 and the utility tunnel leading along the Hlávkův Bridge, a part of which is, among others, the cable chamber KK1 and interconnection between shaft J101 and the



Obr. 1 Den otvorených dverí na stavbe D3 Svrčinovec – Skalitz
Fig. 1 Open day on Svrčinovec – Skalitz section of the D3 motorway

Tunely Poľany a Svrčinovec spolu s celou trasou diaľnice D3 Svrčinovec – Skalitz boli slávnostne odovzdané do užívania investorovi stavby (NSD) a širokej verejnosti dňa 10. 6. 2017. Podľa odhadov sa šoférom cestujúcim do Poľska skráti cesta o 9 minút.

Výstavbu úseku zabezpečuje združenie štyroch spoločností: Váhovstav – SK, a. s., Doprastav, a. s., Strabag, a. s., a Metrostav SK, a. s.

Tunely Ovčiarisko a Žilina

Na úseku D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka s dĺžkou 13,2 km sa nachádzajú dva diaľničné dvojručové tunely: Ovčiarisko a Žilina.

Tunel Ovčiarisko s dĺžkou 2367 m sa začal raziť 12. 9. 2014.

S razením severnej tunelovej rúry (STR) dĺžky 2360 m sa začalo 12. 9. 2014 a bola slávnostne prerazená 29. 4. 2016. V súčasnosti sa realizujú práce na sekundárnom ostení, k 3. 7. 2017 bolo zabetónovaných 167 blokov z celkového počtu 184 blokov R, čo predstavuje 90,76 % z celkovej dĺžky sekundárneho ostenia razenej časti STR.

Južná tunelová rúra (JTR) dĺžky 2367 m bola slávnostne prerazená dňa 12. 7. 2016. Začiatok realizácie sekundárneho ostenia bol 29. 9. 2016, aktuálne k 2. 7. 2017 je zabetónovaných 101 blokov z celkových 187 blokov, čo predstavuje 54,01 % z celkovej dĺžky sekundárneho ostenia razenej časti JTR.

Zrealizované je aj sekundárne ostenie na troch priečných prepojeniach, z celkového počtu ôsmich prepojení.

Tunel Žilina je diaľničný tunel s dĺžkou 687 m na stavbe D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka. S razením tunela sa začalo 5. 11. 2014. Slávnostné prerazenie JTR bolo 5. 12. 2016 a STR 9. 2. 2017.

V súčasnosti sa na JTR finišuje s realizáciou sekundárneho ostenia tunela, k 3. 7. 2017 bolo zabetónovaných všetkých 54 blokov razenej časti JTR. Zostáva ešte realizovať 3 bloky sekundárneho ostenia hlbenej časti JTR. Po ukončení prác na sekundárnom ostení JTR sa celá technológia a pracovné kapacity presunú na realizáciu sekundárneho ostenia STR.

Výstavbu úseku zabezpečuje združenie štyroch spoločností: Doprastav, a. s., Strabag, a. s., Váhovstav – SK, a. s. a Metrostav SK, a. s.

Tunel Považský Chlmec

Dvojručový diaľničný tunel Považský Chlmec (južná tunelová rúra 2186,5 m, severná tunelová rúra 2249 m) je súčasťou diaľničného úseku, ktorý tvorí juhozápadný obchvat mesta Žilina D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno).

K 13. 7. 2017 je v oboch tunelových rúrach položený cementobetónový kryt vozoviek a chodníkov. Ako úprava pre zvýšenie protišmykových vlastností povrchu vozovky bol použitý systém vymývateľného betónu. Vzhľadom k tomu, že tunel je vďaka priaznivým geotechnickým pomerom vyrazený bez spodnej klenby, tunelové ostenie nespôsobí s konštrukčnými vrstvami vozovky a škáre vozovky preto nekorešponduje so škárami medzi blokmi betonáže sekundárneho ostenia.

V oboch tunelových rúrach sú urobené nátery klenieb sivou farbou (RAL 7038) a z väčšej časti zosvetľujúce nátery na bokoch ostenia. Ich dokončenie komplikujú klimatické podmienky, ktoré

existujú na úseku na Ludvíka Svobody Embankment. Waterproofing was installed and concreting of the final lining of all three expansion blocks on the cut-and-cover branch leading from shaft J103 under the Hlávčův Bridge arch to the tennis stadium was carried out; tunnel backfilling is at the moment being finished.

Ing. VÁCLAV DOHNÁLEK, Subterra a.s.

Ing. RADEK KOZUBÍK, HOCHTIEF CZ a. s.

THE SLOVAK REPUBLIC

TUNNELS ON MOTORWAY NETWORK

Poľana and Svrčinovec tunnels

Parts of the Svrčinovec – Skalitz section of the D3 motorway (see Fig. 1) construction are also the Poľana tunnel (890m) and Svrčinovec tunnel (445m), which were realised as single-tube structures for bi-directional traffic, with a separate escape gallery.

The Poľana and Svrčinovec tunnels, together with the entire route of the Svrčinovec – Skalitz section of the D3 motorway, were put into service and handed over to the project owner and the wide public with a celebration on 10th June 2017. According to estimates, the travel time will be reduced by 9 minutes.

The construction of this section is provided by a consortium consisting of four companies: Váhovstav – SK, a. s., Doprastav, a. s., Strabag, a. s., and Metrostav SK, a.s.

Ovčiarisko and Žilina tunnels

There are two twin-tube motorway tunnels on the 13.2km long Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka section of the D1: Ovčiarisko and Žilina.

The excavation of the 2367m long Ovčiarisko tunnel commenced on 12th September 2014.

Driving the 2360m long northern tunnel tube (NTT) started on 12th September 2014 and the breakthrough celebration took place on 29th April 2016. Currently the work proceeds on the secondary lining; as of 3rd July 2017, 167 concrete casting blocks of the total number of 184 have been finished, representing 90.76 per cent of the total length of the secondary lining of the mined part of the NTT.

The southern tunnel tube (STT) was broken through with a celebration on 12th July 2016. The realisation of the secondary lining commenced on 29th September 2016; currently, as of 2nd July 2017, 101 concrete casting blocks of the total number of 187 have been finished, representing 54.01 per cent of the total length of the secondary lining of the mined part of the STT.

The secondary lining in three cross passages of the total number of eight has also been finished.

The 687m long Žilina motorway tunnel is located on the Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka section of the D1 motorway. The tunnel excavation began on 5th November 2014. The STT and NTT were broken through with a celebration on 5th December 2016 and 9th February 2017, respectively.

The realisation of the secondary lining of the STT is currently being finished; as of 3rd July 2017, all 54 concrete casting blocks of the mined part of the STT have been finished. Three blocks of the secondary lining of the cut-and-cover part of the STT remain to be realised. When the work on the secondary lining in the STT is completed, the entire construction equipment and working capacities will be shifted to the realisation of the secondary lining in the NTT.

The construction of this motorway section is ensured by a consortium of four companies: Doprastav, a. s., Strabag, a. s., Váhovstav – SK, a. s. and Metrostav SK, a.s.

Považský Chlmec tunnel

The twin-tube motorway tunnel Považský Chlmec (the southern tunnel tube 2186.5m long, the northern tunnel tube 2249m long) is part of the motorway section forming the south-western by-pass of the town of Žilina D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno).



Obr. 2 Tunel Považský Chlmec, západný portál
Fig. 2 Považský Chlmec tunnel, western portal

spôsobujú kondenzáciu vzdušnej vlhkosti na stenách tunela, a tým znemožňujú nanosenie náterov. K prebiehajúcim stavebným prácam na dokončení vnútorných konštrukcií patrí predovšetkým montáž dverí do technologických miestností v priechodných prepojkách, montáž vstupných dverí do priechodných a prejazdných prepojek a do SOS kabín. K veľkému pokroku došlo na oboch portáloch. Z väčšej časti sú ukončené vysoké gabiónové steny, ktoré zaisťujú čelá zásypov hlbených tunelov a portály pomaly menia tvár do svojej definitívnej podoby, ako ukazujú fotografie západného a východného portálu (obr. 2, 3). Práce pokročili i na montáži technologického vybavenia tunela. V oboch rúrach sú pod klenbami inštalované kábelové rošty a je namontované osvetlenie. Práce postupujú i na ďalších prevádzkových súboroch.

Zhotoviteľom stavby je združenie Eurovia a. s., HOCHTIEF CZ a. s. a Stavby mostov Slovakia, a. s.

Tunel Višňové

Razenie najdlhšieho slovenského diaľničného tunela Višňové (7537 m), ktorý je súčasťou úseku diaľnice D1 Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala sa začalo v apríli 2015.

V polovici roku 2017 pokračuje razenie tunela Višňové od oboch portálov v oboch tunelových rúrach. Od západného portálu je vyrazených viac ako 4 km, presnejšie 2183 m severnej tunelovej rúry a 1967 m južnej tunelovej rúry. Od východného portálu je v priaznivejších geologických podmienkach vyrazených približne 5,5 km, konkrétne 2834 m STR a 2688 m JTR. Celkovo je teda od začiatku vyrazených 9673 m, čo predstavuje takmer dve tretiny dĺžky razených tunelových rúr. Mesačný postup razenia v súčasnosti predstavuje viac ako 500 m spolu na štyroch čelbách. Súčasne s razením tunelových rúr prebieha aj razenie priečných prepojení, keď na konci marca ich bolo prerazených 18 z celkového počtu 29. V súbehu s razením prebieha aj betonáž sekundárneho ostenia od oboch portálov, pričom je v júli 2017 ukončených celkom 2441 m, čo predstavuje takmer šestinu dĺžky tunelových rúr. Pokračuje tiež hlbenie vetracej šachty, pričom v júli 2017 je už vyhlbených viac než 90 m.

Tunel Višňové je súčasťou úseku diaľnice D1 Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala, ktorého zhotoviteľom je združenie firiem Salini Impregilo S.p.A a Dúha, a. s.

Ing. MILAN MAJERCÍK, milan.majercik@ndsas.sk,
NDS, a.s.,

Ing. VIKTOR PETRÁŠ, viktor.petras@hochtief.cz,
HOCHTIEF CZ a. s.

TUNELY NA MODERNIZOVANEJ ŽELEZNIČNEJ TRATI

Tunel Diel

Tunel Diel prechádza masívom vrchu Diel, ktorý tvorí centrálnu časť meandru Váhu. Tunel dlhý 1081,7 m bude razený v masíve popod kúpele Nimnica. Západný portál je situovaný na okraji obce Nimnica, východný portál bude situovaný v území lesa nad cestou druhej triedy II/507, ktorá vedie z Púchova so Považskej Bystrice, po pravom brehu priehrady. Tunel Diel bude mať únikovú štôľňu, ktorá bude ústiť do priestoru východného portálu.

V súčasnosti na západnom portáli (obr. 4) začali raziace práce na samotnom tuneli. Profil tunela je pri razení delený na kalotu, stupeň a dno. Z dôvodu veľkých tlakov na ostenie zapríči-



Obr. 3 Tunel Považský Chlmec, východný portál
Fig. 3 Považský Chlmec tunnel, eastern portal

As of 13th July 2017, the placement of the concrete pavement of the roadway and walkways has been finished. The washed concrete surface system was used as the treatment increasing the skid resisting properties of the surface. With respect to the fact that, owing to favourable geotechnical conditions, the tunnel was driven without the invert, the composite action between the tunnel lining and the structural courses of the roadway does not exist and for that reason the roadway joints layout does not correspond to the joints between the secondary lining concrete blocks.

The lining vaults in both tunnel tubes have been painted gray (RAL 7038 paint) and the major part of the lining sidewalls has been provided with a lightening coat. The completion of this work is complicated by climatic conditions causing the condensation of air humidity on the tunnel walls, which prevents the application of the coating. Among the construction work operations on the completion of internal structures, there are first of all the installation of doors to the technical services rooms in the cross passages passable for persons, the installation of entrance gates to cross passages passable for persons and vehicles and the doors to SOS cabins. Great progress took place at both portals. The major part of the high gabion walls supporting the front ends of the cut-and-cover tunnels backfill has been completed. The portals slowly change their face, assuming the final appearance, as shown in the photographs of the western and eastern portals (see Fig. 2, 3). The work progressed even on the installation of the technical equipment of the tunnel. The installation of cable shelves under the vaults and the installation of lighting has also been finished. Even the work on other operating units proceeds.

The construction contractor is a consortium consisting of Eurovia a. s., HOCHTIEF CZ a. s. and Stavby mostov Slovakia, a. s.

Višňové tunnel

The excavation of the longest Slovakian motorway tunnel, the Višňové (7537m), which is part of the Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala section of the D1 motorway, commenced in April 2015.

In mid-2017, the Višňové tunnel excavation continues from both portals in both tunnel tubes. Over 4km of the excavation, more precisely 2183m of the northern tunnel tube and 1967m of the southern tunnel tube, have been finished from the western portal. From the eastern portal, approximately 5.5km, concretely 2834m of the NTT and 2688m of the STT, have been excavated through the more favourable geology. It means that 9673m of the excavation have been finished in total since the beginning; this represent nearly two thirds of the length of the mined tunnel tubes. The monthly excavation advance rate currently amounts to 500m (jointly at the four headings). The excavation of cross passages proceeds concurrently with the excavation of the tunnel tubes; 18 cross passages of the total number of 29 had been broken through by the end of May. Concreting the secondary lining proceeds from both portals concurrently with the excavation; as of the end of July 2017, 2441m of the secondary lining have been finished in total, representing nearly one sixth of the length of the tunnel tubes. The sinking of the



Obr. 4 Zabezpečenie čelnej steny na západnom portáli tunela Diel
Fig. 4 Stabilisation of the front wall at the western portal of the Diel tunnel

nené vodou nasiaknutým nadložíom portálovej oblasti z hlinitého materiálu sa pristúpilo k minimálnym vzdialenostiam medzi jednotlivými čelbami. Vytážených je cca 30 m v kalote a zároveň od začiatku tunela je v dĺžke 10 m uzavretý celý prstenec primárneho ostenia.

Na východnom portáli pokračuje výstavba prístupovej komunikácie. V budúcej portálovej oblasti prebehli v rámci spresnenia geologickej skladby dodatočné inžiniersko-geologické vrtné práce, na základe ktorých sa bude prehodnocovať spôsob zabezpečenia.



Obr. 5 Oblasť západného portálu tunela Milochov – odlesnenie
Fig. 5 Area of the western portal of the Milochov tunnel – deforestation

Tunel Milochov

Na preklenutie úpätia vrchu Stavná, južne od miestnej časti Horný Milochov – mestskej časti Milochov mesta Považská Bystrica, je navrhnutý nový tunel Milochov. Projektovaná dĺžka tunela je 1861 m. Tunel bude mať jednu únikovú štôľňu.

Na západnom portáli tunela (obr. 5) sa od vrchu odťazujú prvé etáže budúcej stavebnej jamy, následne sa svahy zaistujú oceľovými rohožami a striekaným betónom. Budujú sa odvodňovacie rigoly, ktoré budú sťahovať vodu pritekajúcu zhora z lesa.

Na východnom portáli je pred ukončením stena zo záporového paženia zaistená lanovými predopnutými kotvami a oceľovými rozpernými prievlakmi. Na čelnej stene po vybudovaní prvej etáže a vŕtaní vrtov na lanové kotvy sa zistila prítomnosť plastických ťlov veľkej moci. Z toho dôvodu boli práce pozastavené a momentálne sa rieši systém spevnenia oblasti portálovej steny a následného postupu ako pri hĺbení samotnej jamy, tak budúceho razenia tunela.

Celú stavbu realizuje združenie Nimnica zložené zo spoločností Doprastav – TSS Grade – SUBTERRA – EŽ Praha. Tunel Diel bude realizovať spoločnosť TUBAU, a. s. a tunel Milochov spoločnosť Subterra a.s. Generálnym projektantom pre investora Železnice Slovenskej republiky je spoločnosť REMING CONSULT a. s.

Ing. JÁN KUŠNÍR, kusnir@reming.sk,
REHING CONSULT a. s.

ventilation shaft also continues; the depth of more than 90m has been excavated till the end of July 2017.

The Višňové tunnel is part of the Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala section of the D1 motorway; the contractor for this section is a consortium consisting of Salini Impregilo S.p.A and Dúha, a. s.

Ing. MILAN MAJERČÍK, milan.majercik@ndsas.sk,
NDS, a.s.,
Ing. VIKTOR PETRÁŠ, viktor.petras@hochtief.cz,
HOCHTIEF CZ a. s.

TUNNELS ON THE MODERNISED RAILWAY LINE

Diel tunnel

The Diel tunnel runs through the Diel mountain massif, which forms the central part of a meander of the river Váh. The 1081.7m long tunnel will be driven through the massif under Nimnica Spa. The western portal is located at the edge of the municipality of Nimnica; the eastern portal will be located in the area of a forest above the II/507 secondary road leading from Púchov to Považská Bystrica, along the right-hand bank of the dam reservoir. The Diel tunnel will have an escape gallery, which will have its mouth in the area of the eastern portal.

The excavation work on the western portal of tunnel (see Fig. 4) itself has currently commenced. The excavation of the tunnel profile is divided into top heading, bench and bottom sequences. Minimum distances between individual headings were designed because of great pressures on the lining induced by the loamy overburden in the area of the portal slope saturated with water. About 30m of the top heading excavation have been finished and, at the same time, the whole ring of the primary lining has been closed along the length of 10m from the beginning of the tunnel.

At the eastern portal, the construction of the access road continues. Supplementary engineering-geological drilling was carried out in the area of the future portal with the aim of refining of the geological structure. The system of the stabilisation will be reassessed on the basis of the drilling results.

Milochov tunnel

The new Milochov tunnel is designed to overcome the foot of Stavná hill, south of the local part Horný Milochov of the municipal district of Milochov of the town of Považská Bystrica. The tunnel design length is 1861m. The tunnel will have one escape gallery.

Initial layers of the excavation of the future construction pit are being excavated from the top at the western portal (see Fig. 5); subsequently the slopes are being stabilised with welded mesh and shotcrete. Gutters designed to collect water flowing from the forest above are being carried out.

A soldier beam and a lagging wall stabilised with pre-tensioned cable anchors and steel bracing beams are before completion at the eastern portal. The presence of great thickness plastic clay layers was discovered on the front wall after the completion of the first stage and drilling of holes for cable anchors. For that reason the operations were suspended and the system of reinforcing the portal wall area and the subsequent procedure for both the excavation of the pit and the future excavation of the tunnel is being solved.

The entire construction is realised by Nimnica consortium consisting of the companies of Doprastav – TSS Grade – SUBTERRA – EŽ Praha. The Diel and Milochov tunnels will be realised by the companies of TUBAU, a. s., and Subterra a.s., respectively. The general designer for the project owner, Railways of the Slovak Republic (ŽSR) is the company of REMING CONSULT a. s.

Ing. JÁN KUŠNÍR, kusnir@reming.sk,
REHING CONSULT a. s.

Z HISTORIE PODZEMNÍCH STAVEB FROM THE HISTORY OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

POHLEDNICE S MĚSTSKÝMI TUNELY PORŮZNU PO EVROPĚ PICTURE POSTCARDS WITH VARIOUS URBAN TUNNELS ACROSS EUROPE

Urban tunnels are more or less a standard item in the nomenclature of tunnels. Urban tunnels are linear underground structures located in urban areas, most frequently on motor vehicle roads, less frequently for trams, under appropriate conditions even for pedestrian and cycling traffic. The following picture postcards present four important urban tunnels in various European countries, respectively their metropolises. One of them, even though being in a city, is rather a motorway tunnel; other two tunnels are located on a principal urban road and one is even not a tunnel in the true meaning of the word, despite the fact that it is historically called so. One picture postcard presenting a station of an underground railway is attached to those urban tunnels as an example of an exceptional architectural deed.

Víceméně standardní položkou v nomenklatuře tunelů jsou tunely městské. Jde o liniové podzemní objekty nacházející se v intravilánu, nejčastěji na pozemních komunikacích pro motorová vozidla, méně často pro tramvaje, za vhodných podmínek i pro pěší a cyklistický provoz. Na následujících pohlednicích jsou předvedeny čtyři významné městské tunely v různých evropských zemích, resp. jejich metropolích. Jeden z nich je, byť ve městě, spíše tunelem dálničním, další dva se nacházejí na zásadní městské komunikaci a jeden, byť se tak historicky nazývá, potom v pravém slova smyslu tunelem ani není. K těmto městským tunelům je, jako ukázka mimořádného architektonického počínu, přičleněna jedna pohlednice se stanicí podzemní dráhy.

TUNEL LE MANS

Tunel v Le Mans, ve francouzském regionu Pays de la Loire. Nachází se na spojnici mostu Yssoir přes řeku Sarthe s centrem historického „plantagenetského“ města. Ulice nese jméno průkopníka letectví Rue Wilbur Wright. Jedná se vlastně o hluboký skalní zářez, cca 200 m dlouhý, překlenutý několika mosty, z nich jedním velmi širokým – obr. 1. Tato stavba byla po 30 letech úvah a projekčních prací započata v březnu 1870. S ohledem na přerušení způsobené francouzsko-pruskou válkou trvala výstavba posléze dlouhých 6 let, s otevřením dne 30. 9. 1877.



Obr. 1 Le Mans. Vstup do tunelu. No. 7 Joguet-Goupil, Le Mans. Okolo 1910? [sbírka autorů]

Na pohlednici je zobrazen jihovýchodní vstup, směrem k mostu Yssoir. Vpravo jsou patrné žebrové cihelné opěrné stěny, vidět je i původní vůz pouliční dráhy. Fig. 1 Le Mans. Tunnel entrance. No. 7 Joguet-Goupil, Le Mans. Around 1910? [authors' collection]

The picture postcard shows the south-eastern entrance, in the direction of the Yssoir bridge. Brickwork support ribs of a retaining wall can be seen on the right-hand side. Even the original street car wagon can be seen.

Původně byla komunikace určena pro pěší, povozy a tramvaj, od poloviny 20. stol. i pro automobily, dnes je jí vedena také cyklostezka. Ve výklencích starých žebrových cihelných (a v současnosti již notně degradovaných) opěrných zdí se často pořádají různé pouliční výstavy. [1]

TUNEL V MOSKVĚ NA MAJAKOVSKÉHO (DNES TRIUMFÁLNÍM) NÁMĚSTÍ

Městský tunel v Moskvě, který podchází na Velké sadové ulici (Большая Садовая ул.) ulici Tverskou (Тверская ул.), v letech 1935 až 1990 pojmenovanou Gorkého (Горьково). Velká sadová ul. tvoří část vnitřního okruhu a ul. Tverská, známá již ve XII. stol. je patrně nejvýznamnější radiální komunikací v Moskvě. Mělký tunel, kterým jsou vedeny dvě jednosměrné tříproudové silniční komunikace (obr. 2), byl postaven v roce 1960, a to za pouhé 4 měsíce. Jeho délka však nečiní ½ km (jak je uváděno v popisu na rubu pohlednice), nýbrž jen cca 200 m. [2]

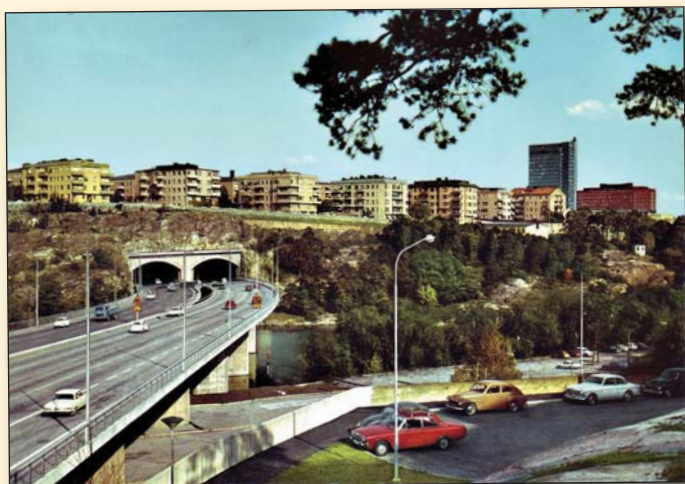


Obr. 2 Majakovského náměstí s budovou koncertního sálu Čajkovského (vpravo), rekonstruovanou v roce 1940 ze starého divadla. Před Čajkovského síní začíná dopravní tunel, vede pod náměstím a pod Gorkého ulicí i pod starým činžovním domem, který dříve zužoval vozovku a vyústíje na Sadovou třídu za jednou z nejfrekventovanějších křižovatek Moskvy. Podjezd, vybudovaný v roce 1960 za 4 měsíce, je téměř půl kilometru dlouhý. Zcela uvolnil jízdu oběma křižujícími se směry. Snímek: APN. Pressfoto Praha. 1964 [sbírka autorů]

Na pohlednici je zachycen jihozápadní portál tunelu. Majakovského náměstí se dnes nazývá Triumfální (Триумфальная Площадь). Po sovětském básníku zůstala pojmenována jen zdejší stanice Metra. Dům vlevo nad tunelem, zmiňovaný v popisu z rubu pohlednice, je jediným dodnes dochovaným blokem původního okružního bulváru, který přežil období stalinské výstavby po roce 1935, resp. po 2. světové válce.

Fig. 2 Mayakovski Square with the building of the Czajkowski concert hall building, reconstructed in 1940 from an old theatre. The transport tunnel begins in front of the Czajkowski hall, leads under the square and under Gorky Street and under an old apartment house, which formerly narrowed the roadway, and emerges in Sadova Street, behind one of the busiest intersections in Moscow. The underpass, which was built in 4 months in 1960, is almost half a kilometre long. It has fully relieved traffic in both crossing directions. Photo: APN. Pressfoto Praha. 1964 [authors' collection]

The south-western portal of the tunnel is captured in the picture postcard. The Mayakovski Square is today called Triumphant Square (Триумфальная Площадь). The local Metro station is the only place which has kept its name after the Soviet poet. The building pictured left above the tunnel, which is mentioned in the legend on the reverse side of the picture postcard, is today the only block of the original circular boulevard preserved to this day. It has survived the period of the Stalinist construction development after 1935, respectively after the World War II.



Obr. 3 Stockholm, Essingeleden. Nordisk Pappersindustri, Stockholm. Cca 1965. [sbírka autorů]

Na pohlednici je zobrazený severní portál tunelu.

Fig. 3 Stockholm, Essingeleden. Nordisk Pappersindustri, Stockholm. Ca 1965. [authors' collection]

The picture postcard shows the northern portal of the tunnel.

STOCKHOLM – FREDHÄLLSTUNNELN

Jedná se o dvě jednosměrné, čtyřpruhové silniční tunelové trouby délky 210 m. Západně od centrální části Stockholmu jimi překonává dálnice E4/E20 skalní návrší Fredhäll (obr. 3), navazující tak v jižním přístupu k tunelům na most přes průliv Mariebergsvägen. Tunel byl uveden do provozu 21. 8. 1966.

V roce 1990 proběhla jeho rozsáhlá renovace. Výrazným rysem obnovy bylo obložení líce ostění žlutými děrovanými cihlami, se záměrem významně utlumit dopravní hluk. Tunelem projede mimořádně vysoké množství vozidel, odhadované denně až na 150 tis. jednotek. [3]

STOCKHOLM – METRO – STANICE TEKNISKA HÖGSKOLAN

První trasa Metra ve Stockholmu byla otevřena 1. 10. 1950. V současnosti má tamní podzemní dráha ve třech trasách (modrá, červená

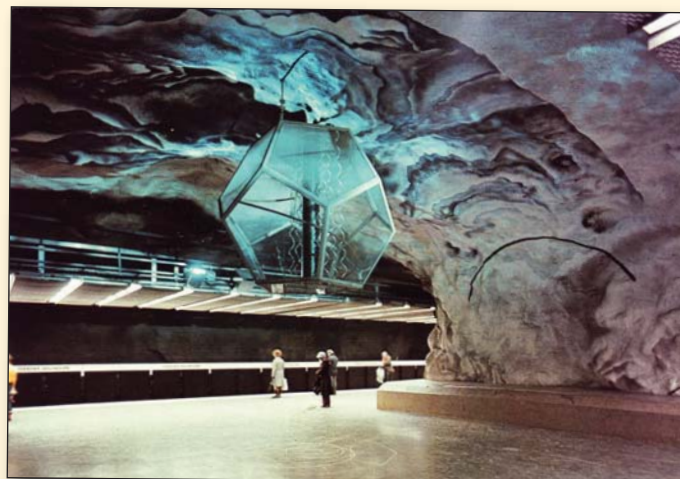


Obr. 5 Trasa W-Z. Wydawnictwo „Sztuka: – Kalendarz Warszawski“, fot. F. Myszkowski. Cca 1955.

Na pohlednici je východní portál tunelu. Vlevo od něj stojí kostel sv. Anny. Nad portálem se nachází Hradní náměstí, při pravém okraji je patrný sloup Zikmunda III. Vasy. Dobře pořízení fotografie odpovídá také minimální intenzita dopravy na komunikaci, která byla v době zobrazení a je i dnes jednou z nejvýznamnějších ve Varšavě.

Fig. 5 The E-W Line. Wydawnictwo „Sztuka: – Kalendarz Warszawski“, photo F. Myszkowski. Ca 1955.

The picture postcard shows the eastern portal of the tunnel. Church of St Anne stands on its left-hand side. Above the portal, there is Castle Square with the column of King Sigismund III Vasa visible at the right-hand edge. The time of taking the photo also corresponds to the minimum volume of traffic flow on the road, which was at the time of the depiction and is even today one of the most important in Warsaw.



Obr. 4 Stockholm – Metro. Stanice: Vysoká škola technická. Umělecká dekorace Lennart Mörk. Foto Sten Vilson. 100ÅR. Cca 1985. [sbírka autorů]

Dominantním artefaktem stanice je mohutný zavěšený dvanáctistěn, představující Vesmír. Vertikální průmět tohoto díla je vyrytý v dlažbě.

Fig. 4 Stockholm – Metro. Station: Technical university. Artistic decoration Lennart Mörk. Photo Sten Vilson. 100ÅR. Ca 1985. [authors' collection]

The dominant artefact of the station is a massive suspended dodecahedron representing the Universe. The vertical projection of this work is engraved in the pavement.

a zelená) celkovou délku již 143,4 km. Objekty stockholmského metra určené pro veřejnost se všeobecně vyznačují barevností a často velmi avantgardní uměleckou výzdobou. Sochy, mozaiky, malby, instalace, rytiny či reliéfy lze nalézt v současnosti u 90 z celkem 100 provozovaných stanic.

Jednou z nejznámějších je v tomto směru stanice Tekniska högskolan, pojmenovaná podle blízké Královské vysoké školy technické (Kungliga Tekniska högskolan). Nachází se na červené trase vedoucí do Mörbý. Byla otevřena 30. 9. 1973 a autorem její výzdoby je Lennart Mörk. Umělecká úprava povrchu stříkaného betonu má zobrazovat vývoj vědy a techniky. Mezi technickými a matematickými symboly jsou na stěnách stanice umístěny i citáty slavných vědců a filozofů. Hlavním tématem dekoru je potom teorie čtyř elementů/živlů (Ohně, Vody, Vzduchu a Země), v rozích stanice symbolizovaných čtyřmi mnohoúhelníky v charakteristických barvách – obr. 4. [4, 5, 6]

WARSZAWA – TUNEL NA W-Z TRASE

Tunel na hlavní varšavské spojnici východu a západu města. Komunikace je v tomto místě dnes pojmenovaná Alej Solidarności a je určená pro automobilovou a tramvajovou dopravu s přidruženým průchodem pro chodce. Objekt byl v délce 195 m vybudován v letech 1948–1949 jako hloubený, a to podle vzoru tunelu Saint Cloud v Paříži. Celá W-Z trasa pak byla otevřena 22. 7. 1949. Tunel, který umožnil převedení dopravy přes válkou silně poničené fragmenty Starého města s Hradním náměstím, je charakteristicky obložený různými typy glazovaných dlaždic – obr. 5 až 7.

V průběhu roku 2004 byla tato dopravní stavba věrně rekonstruována. Opraveno bylo osvětlení, větrání, odvodnění a keramické obklady a byly renovovány rovněž přilehlé opěrné stěny. V současnosti projede tunelem cca 35 tis. vozidel/den. [7]

doc. Ing. VLADISLAV HORÁK, CSc.,
Ing. RICHARD SVOBODA, Ph.D.,
Ing. MARTIN ZÁVACKÝ

Poděkování: Příspěvek byl vypracován s finanční pomocí EU „OP Výzkum a vývoj pro inovace“, projekt reg. č. CZ.1.05/2.1.00/03.0097, v rámci činnosti regionálního centra AdMaS „Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie“ a programu Centra kompetence Technologické agentury České republiky (TAČR) v rámci projektu Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI), číslo projektu TE01020168.



Obr. 6 Warszawa. Trasa W-Z; zleva kostel svaté Anny z XV. stol. Krajowa agencja wydawnicza. Fot. K Jabłoński. 1975. [sbírka autorů]

Na pohlednici je opět východní portál tunelu. Intenzita dopravy na důležité městské komunikaci se za 20 let oproti stavu na obr. 5 výrazně zvýšila. Odpovídajícím způsobem vzrostly i dřeviny nacházející se v levé části pohlednice.

Fig. 6 Warsaw; the E-W line: Pictured left to right – Church of St Anne from the 15th century. Krajowa agencja wydawnicza. Photo K Jabłoński. 1975. [authors' collection]

The picture postcard again presents the eastern portal of the tunnel. The volume of the traffic flow on the important urban road has significantly increased during 20 years in comparison with the state in Fig. 5. Even the trees located in the left-hand part of the picture postcard grew correspondingly.



Obr. 7 Warszawa – trasa W-Z. Biuro wydawniczo – propagandowe. Fot. T. Biliński. 1976. [sbírka autorů]

Na pohlednici je severní část Hradního náměstí se sloupem Zigmunda III. Vasy nad východní portálovou stěnou tunelu. Zřetelné jsou také charakteristické keramické obklady.

Fig. 7 Warsaw – the E-W line. Biuro wydawniczo – propagandowe. Photo. T. Biliński. 1976. [authors' collection]

The picture postcard presents the northern part of Castle Square with the column of King Sigismund III Vasa above the eastern portal wall. The characteristic ceramic tiling is also well obvious.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Tunnel Wilbur-Wright [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné na internetu <https://fr.wikipedia.org/wiki/Tunnel_Wilbur-Wright>
- [2] Tverskaya Street [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné na internetu <https://en.wikipedia.org/wiki/Tverskaya_Street>
- [3] Fredhällstunneln [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné na internetu <<https://translate.google.cz/translate?hl=cs&sl=sv&u=https://sv.wikipedia.org/wiki/Fredh%C3%A4llstunneln&prev=search>>
- [4] Stanice metra Tekniska högskolan [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné na internetu <https://en.wikipedia.org/wiki/Tekniska_h%C3%B6gskolan_metro_station>
- [5] Podzemní umění: Stockholmské barevné stanice Metra na obrázcích [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné na internetu <<https://translate.google.cz/translate?hl=cs&sl=en&u=https://www.theguardian.com/artanddesign/gallery/2016/jun/04/underground-art-stockholms-colourful-metro-stations-in-pictures&prev=search>>
- [6] Metro ve Stockholmu [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné na internetu <<http://stockholmmetro.blog.cz/1412/2>>
- [7] Tunel trasy W-Z ve Varšavě [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné na internetu <https://pl.wikipedia.org/wiki/Tunel_Trasy_W-Z_w_Warszawie>

Z ČINNOSTI PRACOVNÍCH SKUPIN CZTA CZTA WORKING GROUPS

INFORMACE O VZNIKU NOVÉ PRACOVNÍ SKUPINY CZTA PRO LEGISLATIVU A TECHNICKOU POMOC INFORMATION ON ESTABLISHMENT OF A NEW CZTA WORKING GROUP FOR LEGISLATION AND TECHNICAL ASSISTANCE

In 2016, greater involvement of the member base into revising regulations, standards, decrees and laws regarding the design, realisation and maintenance of underground structures was agreed in a meeting of the

Board of the Czech Tunnelling Association. CzTA representatives visited the Road and Motorway Directorate of the Czech Republic, the Czech Office for Standards Metrology and Testing and the Czech Mining

Administration with a proposal for closer collaboration in this area. The support to this idea and willingness to the collaboration was expressed during all meetings. General proposals for the collaboration with the Road and Motorway Directorate (the customer) resulted into a concrete task, where a team of professionals established within the framework of the CzTA carried out expert opinions on design documents for the issuance of Building Location Permits for motorway tunnels in sections of the D11 and D35 motorways. The subject of the activity lied not only in carrying out expert opinions, but also consultancy with the customer after the submission of the opinion and discussion of the opinion in the presence of the customer and author of the particular documentation. This system of collaboration was viewed very positively by the customer. The work of the expert team carrying out opinions on motorway tunnels was highly appreciated by the customer, provided a good reputation for the CzTA and established the space for other collaboration. The involvement of a higher number of association members into expert activities will lead to the possibility of creating teams of specialists according to concrete requirements of the interested party for a professional opinion and will guarantee an objective view of the problem. We can only wish the newly established group a lot of strength and enthusiasm because they are both necessary for the chosen activity of the group.

V roce 2016 bylo na předsednictvu České tunelářské asociace odsouhlaseno větší zapojení členské základny do novelizace předpisů, norem, vyhlášek a zákonů týkajících se návrhu, provádění a údržby podzemních staveb s cílem implementovat do nich zahraniční zkušenosti a dosáhnout tak stálého zvyšování úrovně českého tunelářství. Předseda CzTA Ivan Hrdina z firmy Metrostav a.s. společně s Ing. Srbem z firmy 3G Consulting Engineers s.r.o. a členem předsednictva Ing. Maříkem z firmy HOCHTIEF CZ a. s. postupně navštívili zástupce Ředitelství silnic a dálnic ČR, Úřadu pro normalizaci a měření (UNMZ) a Českého báňského úřadu (ČBÚ) s návrhem na užší spolupráci v této oblasti. Na všech jednáních byla vyjádřena podpora této myšlenky a ochota ke spolupráci. Zástupci ČBÚ projevíli zájem na spolupráci při tvorbě vyhlášek a zákonů se zohledněním specifik různých tunelovacích metod a při zajištění bezpečnosti provádění především tunelových staveb. Zástupci UNMZ nabídli v rámci CzTA možnost vytvoření technické základny pro řadu norem ČSN 7375, které se týkají navrhování, provádění i provozování podzemních staveb. Při jednání na ŘSD ČR byla dohodnuta nejen možnost spolupráce při tvorbě norem a předpisů, ale i pomoc při navázání přímého kontaktu se zahraničními investorskými organizacemi za účelem výměny zkušeností, nebo vypracování expertních posudků projektové dokumentace v rámci DÚR a DSP, které vyžaduje předpis TKP-D7. Obecné návrhy spolupráce s ŘSD ČR vyústily koncem roku 2016 v konkrétní zadání, kdy tým expertů vytvořený v rámci CzTA vypracovával expertní posudky projektové dokumentace DÚR dálničních tunelů na úsecích dálnice D11 a D35. Pozitivně lze hodnotit zapojení prof. Matouše Hilara ze Stavební fakulty a prof. Pavla Příbyla z Dopravní fakulty ČVUT do práce expertního týmu, které tak zvýšilo a zaručilo nezávislost vypracovaných posudků. Předmětem činnosti bylo nejen vlastní vypracování posudku, ale i konzul-

tace s objednatelem po jeho odevzdání a projednání posudku za účasti objednatele s projektantem příslušné dokumentace. Tento způsob spolupráce byl objednatelem vnímán velmi pozitivně.

Dalším krokem ve spolupráci s ŘSD ČR bylo vypracování expertní zprávy s názvem „Doporučení pro úpravu rychlosti ve vybraných kategoriích tunelů na pozemních komunikacích“. Cílem zprávy je podpořit proces rozhodování při žádané změně nejvyšší dovolené rychlosti v dálničních tunelech. Současná praxe je, že se nejvyšší dovolená rychlost v tunelu snižuje ze 130 km/h na volné komunikaci na 80 km/h. Takovéto drastické snížení rychlosti o 50 km/h na několika stovkách metrů není v žádné tunelářsky vyspělé zemi. Začátkem roku 2017 bylo vypracováno posouzení záměru projektu dokumentace na rekonstrukci Nelahozeveských tunelů. Oponentní posudek byl vypracován pro investorskou organizaci Správa železniční dopravní cesty (SŽDC) a i tento posudek byl za účasti objednatele a projektanta projednán.

Vzhledem k úspěšnému zahájení spolupráce s investorskými organizacemi bylo na květnovém valném shromáždění CzTA jejím členům oznámeno, že bude ze zájemců z řad odborníků asociace vytvořena nová pracovní skupina s názvem „Pracovní skupina pro legislativu a technickou pomoc“. Tato výzva nezůstala bez odezvy a k práci ve skupině se přihlásilo 16 členů asociace. Ustavující schůzka skupiny se konala 17. 6. 2017 a účastnilo se jí 11 zástupců projekčních organizací, konzultačních firem, zhotovitelů firem i zástupce vysoké školy – ČVUT v Praze. Na schůzce bylo dohodnuto, že činnost bude zaměřena především na zvýšení úrovně legislativy, podle které se navrhují a provádějí tunely, neboť kvalitní předpisy zajišťují jednoznačné požadavky na rozsah projektové dokumentace, materiály a výrobky používané při výstavbě tunelů i definují vhodná technická řešení pro provozování a údržbu tunelů. Na jednání bylo konstatováno, že v současné době probíhá novelizace předpisu TKP-24 Tunely a chystá se revize normy ČSN 73 7507 Projektování tunelů pozemních komunikací. S ohledem na zkušenosti s vypracováním posudků dálničních tunelů pro ŘSD ČR by však bylo vhodné jednoznačně definovat i požadavky na rozsah a obsah projektové dokumentace silničních a dálničních tunelů, který je předmětem nedávno revidovaného předpisu TKP-D7 Tunely, podzemní stavby a galerie. Dalším předmětem zájmu účastníků jednání byla novelizace vzorových listů VL-5 Tunely. Všechny uvedené předpisy se týkají silničních a dálničních tunelů. Aktualizaci na stávající stav poznání a možnosti oboru by si zasloužil však i předpis TKP-20 Tunely, který definuje požadavky na projektování a realizaci železničních tunelů.

Práce expertního týmu, který prováděl posudky dálničních tunelů, byla objednatelem vysoce ceněna, získala pro CzTA dobré renomé a vytvořila prostor pro další spolupráci. Zapojení většího počtu členů asociace do expertní činnosti povede k možnosti vytváření týmů specialistů podle konkrétního požadavku zájemce o odborný názor a zaručí objektivní pohled na věc. Nezbyvá než nově vzniklé skupině popřát hodně sil i entuziasmu, neboť oboje je při zvolené náplni činnosti skupiny potřebné.

Ing. LIBOR MAŘÍK, HOCHTIEF CZ a. s.

ZPRAVODAJSTVÍ ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE ITA-AITES CZECH TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES REPORTS

www.ita-aites.cz

VALNÉ SHROMÁŽDĚNÍ CZTA ITA-AITES GENERAL ASSEMBLY OF THE CZTA OF ITA-AITES

The General Assembly of the Czech Tunnelling Association of the ITA-AITES was held on Wednesday the 31st May 2017. The CzTA medals for the work in the field of underground construction were awarded to Ing. Miroslav Kolečkář and Ing. Jaromír Zlámal. Further, Ing. Ivan Hrdina, the Chairman of the CzTA, informed the delegates about the activities of the Association in the past year, during the course of which the publishing of TUNEL journal and holding of Tunnel Afternoons continued and the Underground Construction Conference UC2016 was successfully held. The annual technical tour was organised,

this time to Stuttgart, Germany, to the Stuttgart Project sites, concretely the construction sites of the Bad Cannstatt and Filder tunnels. The Economic Report of the organisation and discussion about association's budget 2017 were the subsequent points of the General Assembly. The delegates were informed about the Plan of Work of the Association in 2017, comprising the common activities – publishing TUNEL journal, holding Tunnel Afternoons, organising the technical tour and commencing the preparation of the conference Underground Construction 2019. Elections to the Board were another very important



Obr. 1 Nový držitel medaile CzTA Ing. Miroslav Kolečkář
Fig. 1 New CzTA medal awardee Ing. Miroslav Kolečkář

point. Ing. Ivan Hrdina was elected the chairman of the CzTA, doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D., Ing. Libor Mařík, Ing. Václav Soukup, Ing. Alexandr Butovič, Ph.D., doc. Dr. Ing. Jan Pruška and Prof. Ing. Matouš Hilar, M.Sc., Ph.D. became the other members of the Board. In addition, the results of the student competition for the best diploma thesis in the field of underground construction 2016 were announced. The honours were received by Ing. Martin Baláz (The Use of Fibre Reinforced Concrete for the Považský Chlmec Tunnel), Ing. Daniel Turanský (The Chotýčany Rail Tunnel Design), Ing. Marek Gracias (The Joberg Tunnel – Tunnelling through a Glacial Moraine) and Ing. Adam Zapletal (Assessment of a Safety Pillar in an Underground Construction Project). Bc. Tomáš Němeček spoke in the Assembly part focused on technical issues. He prepared a presentation on the Skärholmen tunnel in Stockholm, Sweden.

Valné shromáždění České tunelářské asociace ITA-AITES se konalo ve středu 31. května 2017 v hotelu Olšanka, Táboritská 23, Praha 3. Jednání zahájil a řídil předseda CzTA Ing. Ivan Hrdina.

Na začátku programu jednání byli tradičně oceněni významní pracovníci v oboru podzemního stavitelství, medaili CzTA letos obdrželi Ing. Miroslav Kolečkář a Ing. Jaromír Zlámal. Oba ocenění vyjádřili, že je to pro ně významná pocta.

Jednání pokračovalo informací předsedy CzTA o činnosti asociace v minulém roce, kdy pokračovalo vydávání časopisu Tunel, který má za sebou již čtvrtstoletí své existence. Další pravidelnou aktivitou je pořádání Tunelářských odpolední (do začátku roku 2017 jich asociace uspořádala již 28). Také proběhla konference PS 2016 a možno říci, že velice úspěšně. Konal se i každoroční odborný zájezd, kdy se účastníci vypravili do německého Stuttgartu, konkrétně na stavbu tunelů Bad Cannstatt a Filder, které jsou součástí rozsáhlého projektu Stuttgart 21.

Dalším bodem jednání byla zpráva o hospodaření asociace, kterou přednesl Ing. Václav Soukup. V roce 2016 stejně jako v tom předchozím dosáhla asociace příznivého výsledku, kdy její hospodaření skončilo se ziskem, a to díky úsporám v jednotlivých položkách rozpočtu. Dále byli přítomni seznámení s návrhem rozpočtu asociace na rok 2017, kdy je plánována ztráta ve výši 302 tisíc Kč, což je způsobeno zejména poklesem počtu členských organizací a dalším snižováním příjmů v oblasti inzerce v časopise Tunel. Tato ztráta bude čerpána z rezervy vytvořené díky minulým konferencím.

Ing. Markéta Prušková obeznámila přítomné s plánem činnosti asociace na rok 2017, kdy se bude pokračovat v běžných aktivitách – vydávání časopisu Tunel, pořádání Tunelářských odpolední i odborného zájezdu a rozběhne se i příprava konference PS 2019. Uvedla rovněž společnosti, kterým jsou věnována následující čísla časopisu Tunel.

Poté pokračovala doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D., která sdělila účastníkům valného shromáždění současně obsazení pracovních skupin při CzTA i ITA-AITES. V poslední době jsou aktivní pracovní skupiny pro konvenční tunelování, mechanické tunelování a odbornou výchovu. Ostatní byly pro jejich nečinnost prozatím uzavřeny. Dále Ing. Libor Mařík informoval o probíhající tvorbě posudků na projekty



Obr. 2 Ing. Hrdina předává medaili CzTA Ing. Jaromíru Zlámalovi
Fig. 2 Ing. Hrdina awards the CzTA medal to Ing. Jaromír Zlámal



Obr. 3 Ocenění studenti
Fig. 3 Awarded students

podzemních staveb a o tom, že bude zřízena nová pracovní skupina, která tyto posudky bude mít ve své kompetenci. Proto vyzval přítomné, aby mu sdělili, kdo má zájem se účastnit práce této PS.

Dalším velmi významným bodem byly volby do předsednictva asociace. Předsedou CzTA byl zvolen v prvním kole Ing. Ivan Hrdina. V prvním kole bylo zvoleno rovněž pět členů předsednictva – doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D., Ing. Libor Mařík, Ing. Václav Soukup, Ing. Alexandr Butovič, Ph.D., doc. Dr. Ing. Jan Pruška. Pro rovnost hlasů na šestém místě se konalo druhé kolo voleb členů předsednictva, kdy o jeden hlas zvítězil prof. Ing. Matouš Hilar, M.Sc., Ph.D.

Poté již doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D. seznámila účastníky valného shromáždění s výsledkem studentské soutěže o nejlepší diplomovou práci z oblasti podzemních staveb za rok 2016. Letos byli oceněni čtyři studenti. Na prvním místě se umístil Ing. Martin Baláz s prací na téma *Využití vláknobetonu pro primární ostění tunelu Považský Chlmec*, který studoval na FSv ČVUT. Druhé místo obsadil Ing. Daniel Turanský ze stejné vysoké školy s tématem diplomové práce *Návrh železničního tunelu Chotýčany*. O třetí místo se podělili Ing. Marek Gracias z VŠB TU-Ostrava s tématem *Tunel Joberg – ražba tunelu v ledovcové moréně* a Ing. Adam Zapletal, VUT Brno, jenž zpracoval problematiku s názvem *Posouzení bezpečnostního celíku u podzemní stavby*. Všem oceněným poblahopřál a předal odměnu předseda CzTA Ing. Ivan Hrdina.

Prof. Ing. Pavel Příbyl, CSc. vystoupil s informací o činnosti společnosti PIARC a Ing. Jiří Smolík sdělil krátce delegátům a hostům VS údaje o činnosti sekce Silniční tunely České silniční společnosti.

V části zasedání zaměřeného na odbornou tematiku vystoupil Bc. Tomáš Němeček, který připravil prezentaci o stavbě tunelu Skärholmen ve švédském Stockholmu.

Ing. MARKÉTA PRUŠKOVÁ, Ph.D.,
pruskova@ita-aites.cz, generální sekretář CzTA



Prodloužení metra V.A (Dejvická–Motol), Praha
stanice Nemocnice Motol

Tunel Považský Chlmec
Žilina, dálnice D3 Žilina, Strážov – Žilina, Brodno



Dopravní infrastruktura

Specializace na dopravní stavby je naší nosnou technologií. Disponujeme týmem zkušených techniků a máme potřebné výrobní kapacity umožňující optimalizaci projektů podle posledních technologických poznatků. Do realizovaných projektů přinášíme kvalifikaci, odbornost a zkušenosti z celého světa, které nám skýtá naše mateřská společnost HOCHTIEF AG. Právě sdílení zkušeností a technologických možností koncernu je jednou z našich hlavních konkurenčních výhod.

HOCHTIEF CZ a. s.

Plzeňská 16/3217
150 00 Praha 5
tel.: +420 257 406 000
www.hochtief.cz

Stavíme svět zítřka

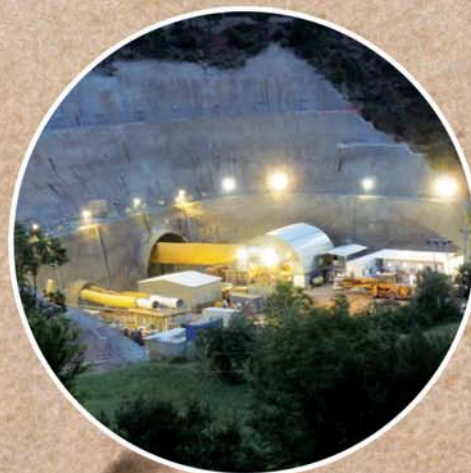


3G

PRAGUE

CONSULTING
ENGINEERS

LET'S GO AHEAD



INDIE - PATNITOP



TURECKO - KARGI



RAKOUSKO - KORALMBAHN



TUNEL EJPOVICE



SLOVENSKO - POVAŽSKÝ CHLMEC