10. ROČNÍK, č. 4/2001

Tunel

ČASOPIS ČESKÉHO TUNELÁŘSKÉHO KOMITÉTU
A SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE ITA/AITES
PODZEMNÍ STAVBY (VÝVOJ, VÝZKUM, NAVRHOVÁNÍ, REALIZACE)

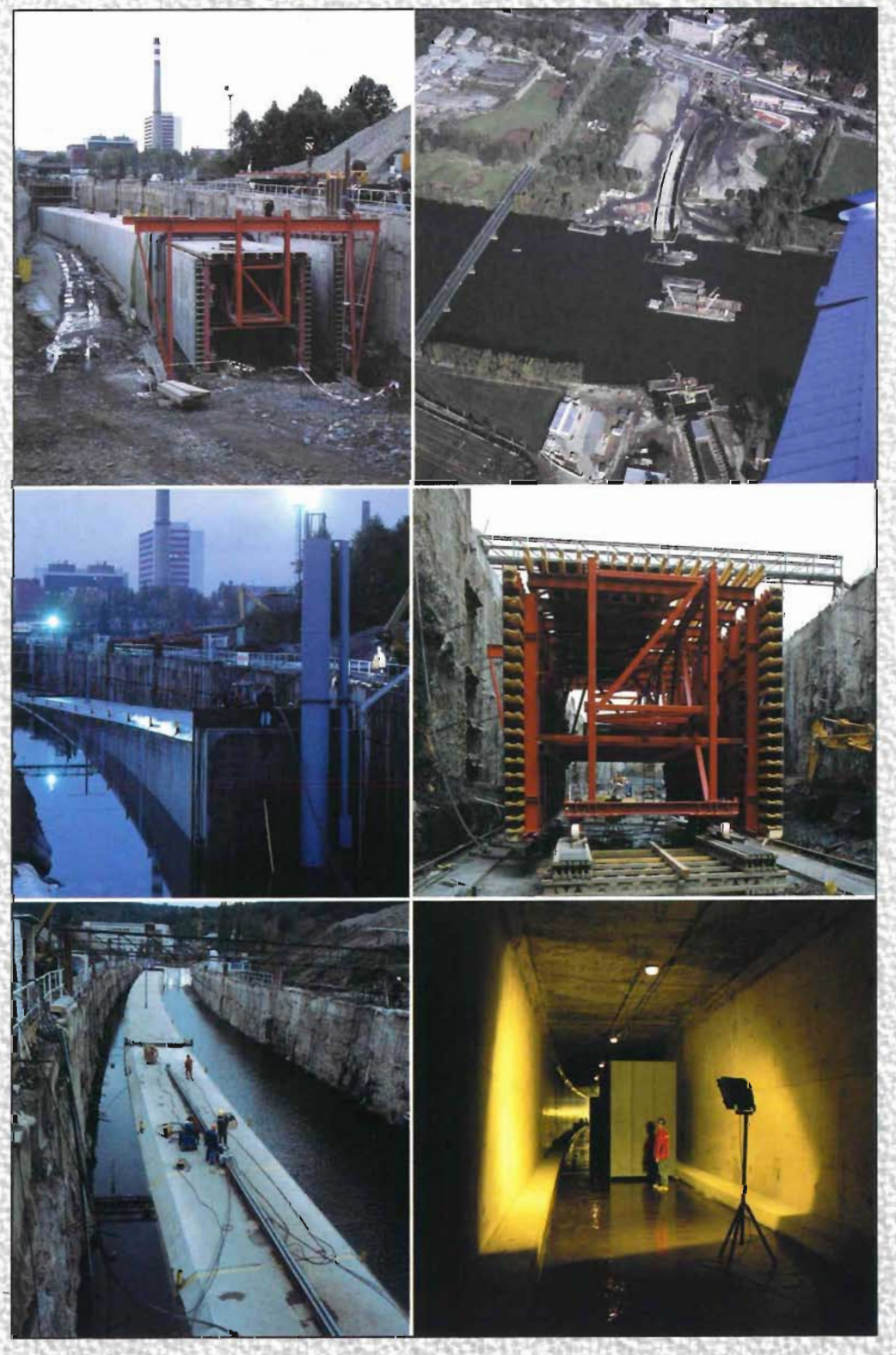
MAGAZINE OF THE CZECH TUNNELLING COMMITTEE
AND SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION ITA/AITES
UNDERGROUND CONSTRUCTIONS (DEVELOPMENT, RESEARCH, DESIGN, REALIZATION)



METROSTAV

1971 - 2001

posouváme hranice možností



Metrostav a.s.
Nové metody a technologie pro práci pod zemí.
Vysouvaný tunel pod Vltavou - originální způsob řešení pro pražské metro.

Metrostav a.s.
New Methods and Technologies for Underground Works.
Pushed Tunnel under Vltava River, Original Method for Construction of Prague Metro.

Metrostav a.s.
Koželužská 2246
180 00 Praha 8
Tel. 02-667 09 110
www.metrostav.cz

10. ROČNÍK č. 4/2001
MK ČR 7122
ISSN 1211 - 0728

Tunel

Časopis Českého tunelářského komitétu
a Slovenskej tunelárskej asociácie ITA/AITES
Založen Ing. Jaroslavem Gránem v roce 1992

OBSAH

str.

Úvodník: Ing. Libor Hájek, prezident společnosti ELTODO, a. s. ... 1
Provoz, správa a údržba tunelů na území Prahy
Rudolf Pelzl, ELTODO dopravní systémy, s. r. o. ... 2
Tunely v městě Brně
Ing. Antonín Havlíček, ELTODO dopravní systémy, s. r. o. ... 7
SW pro vybavení řídicího systému automobilových tunelů
Ing. Jiří Sedlák, ELTODO dopravní systémy, s. r. o. ... 12
Řízení odezvy horniny - milníky do roku 1970
Prof. Dr. K. Kovári, Swiss Federal Institute of
Technology Zurich, Zwitzerland ... 15
Statika NRTM: Vliv rozpadu primáru na zatížení sekundáru
Ing. Aleš Zapletal, DrSc., METROSTAV, a. s. ... 20
**Stabilizace zemin a porušených skalních hornin
pomocí předepínání horninového prostředí**
Doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc., Prof. Ing. Josef Aldorf,
DrSc., RNDr. Eva Hrubešová, PhD., Dr. Ing. Hynek Lahuta,
katedra geotechniky a podzemního stavitelství, VŠB - TU Ostrava ... 25
Předepínání kotev - efektivní zabezpečování tunelů
RNDr. Josef Malík, CSc., Ústav geoniky AV ... 31
**Použití silikátových hmot pro zpevňování nesoudržných zemin při ražení
podzemních děl**
Ing. Rudolf Ziegler, CarboTech Bohemia, s. r. o., Prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc.
katedra geotechniky a podzemního stavitelství, VŠB - TU Ostrava ... 36
Metro pod Vltavou na trase IVC1
Doc. Ing. Jan Vítek, CSc., METROSTAV, a. s. ... 41
Ze světa podzemních staveb ... 45
Jubilea ... 48
Technické zajímavosti ... 50
Zpravodajství ČTuK ITA/AITES ... 52
Spravodajstvo STA ITA/AITES ... 54
Informace ... 56

REDAKČNÍ RADA
Předseda: Ing. Petr Vozarík - METROSTAV, a.s.
Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. - ČVUT Praha
Ing. Igor Fryč - POHL, a.s.
Ing. Milan Krejcar - INSET, s.r.o.
Ing. Josef Kutil - INŽENÝRING DOPRAVNÍCH STAVEB, a.s.
Ing. Miloslav Novotný - METROSTAV, a.s.
Ing. Pavel Polák - METROSTAV, a.s.
Doc. Ing. Pavel Přibyl, CSc. - ELTODO, a.s.
Ing. Georgij Romancov, CSc. - METROPROJEKT Praha, a.s.
Ing. Stanislav Sikora - VOKD, a. s.
Ing. Richard Šňupárek, CSc. - Ústav geoniky AV ČR
Ing. Václav Torner - AQUATIS, a.s.
Ing. Miroslav Uhlík - SUBTERRA, a.s.
ČTuK ITA/AITES: Ing. Karel Matzner
STA ITA/AITES: Ing. Miloslav Frankovský – TERRAPROJEKT, a.s
Ing. Peter Dinga – GEOCONSULT, s.r.o.
Ing. Ondrej Vida – BANSKÉ STAVBY a.s.

VYDAVATEL
Český tunelářský komited a Slovenská tunelárská asociácia
ITA/AITES pro vlastní potřebu

DISTRIBUCE:
členské státy ITA/AITES
členové EC ITA/AITES
členské organizace a členové ČTuK
více než 30 externích odběratelů
povinné výtisky 35 knihovnám a dalším organizacím

REDAKCE
Dělnická 12, 170 04 Praha 7
tel./fax: 667 93 479
e-mail: matzner@metrostav.cz
internet: http://www.ita-aites.cz
Vedoucí redaktor: Ing. Karel Matzner
Odborní redaktoři: Ing. Miloslav Novotný, Ing. Pavel Polák,
Ing. Jozef Frankovský

Grafická úprava: Petr Míšek

Tisk: Graftop

Titulní foto: Regulace dopravy před tunelem

VOLUME 10. No. 4/2001
MK ČR 7122
ISSN 1211 - 0728

Tunel

*Magazine of the Czech Tunnelling Committee
and the Slovak Tunnelling Association ITA/AITES
Established by Ing. Jaroslav Grán in 1992*

CONTENTS

pg

Editorial: Ing. Libor Hájek, President of ELTODO, a. s. ... 1
Operation, administration and maintenance of tunnels in Prague
Rudolf Pelzl, ELTODO, dopravní systémy s. r. o. ... 2
Tunnels in Brno
Ing. Antonín Havlíček, ELTODO dopravní systémy, s. r. o. ... 7
SW for equipment of road tunnels' controlling systems
Ing. Jiří Sedlák, ELTODO dopravní systémy, s. r. o. ... 12
Control of ground response - Milstones up to the 1960s
*Prof. Dr. K. Kovári, Swiss Federal Institute of Technology
Zurich, Zwitzerland* ... 15
The NRTM statics: Impact of primary lining on loading of secondary lining
Ing. Aleš Zapletal, DrSc., METROSTAV, a. s. ... 20
***Soils and faulted rocks stabilisation by means of pre-stressing
the rock environment***
*Doc. Ing. Karel Vojtasik, CSc., Prof. Ing.Josef Aldorf, Dr.Sc.,
RNDr. Eva Hrubešová, PhD., Dr. Ing. Hynek Lahuta,
katedra geotechniky a podzemního stavitelství, VŠB - TU Ostrava* ... 25
Stressing bolts - an effective reinforcement of tunnels
RNDr. Josef Malík, CSc., Ústav geoniky AV ... 31
***Application of silicate materials for improvement of incohesive soils at
underground excavation***
*Ing. Rudolf Ziegler, CarboTech Bohemia, s. r. o., Prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc.,
katedra geotechniky a podzemního stavitelství, VŠB - TU Ostrava* ... 36
Subway below Vltava on the IVC1 line
Doc. Ing. Jan Vítek, CSc., METROSTAV, a. s. ... 41
World of underground construction ... 45
Jubillees ... 48
Technical matters of interest ... 50
Reports of the Czech Tunnelling Committee ITA/AITES ... 52
Reports of the Slovak Tunnelling Association ITA/AITES ... 54
Information ... 56

EDITORIAL BOARD
Chairman: Ing. Petr Vozarik - METROSTAV, a.s.
Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. - ČVUT Praha
Ing. Igor Fryč - POHL, a.s.
Ing. Milan Krejcar - INSET, s.r.o.
Ing. Josef Kutil - INŽENÝRING DOPRAVNÍCH STAVEB, a.s.
Ing. Miloslav Novotný - METROSTAV, a.s.
Ing. Pavel Polák - METROSTAV, a.s.
Doc. Ing. Pavel Přibyl, CSc. - ELTODO, a.s.
Ing. Georgij Romancov, CSc. - METROPROJEKT Praha, a.s.
Ing. Stanislav Sikora - VOKD, a. s.
Ing. Richard Šňupárek, CSc. - Ústav geoniky AV ČR
Ing. Václav Torner - AQUATIS, a.s.
Ing. Miroslav Uhlík - SUBTERRA, a.s.
ČTuK ITA/AITES: Ing. Karel Matzner
STA ITA/AITES: Ing. Miloslav Frankovský – TERRAPROJEKT, a.s.
Ing. Peter Dinga – GEOCONSULT, s.r.o.
Ing. Ondrej Vida – BANSKÉ STAVBY, a.s.

PUBLISHED
*by the Czech Tunnelling Committee and the Slovak Tunnelling
Association ITA/AITES for service use*

DISTRIBUTION:
ITA/AITES Member Nations
ITA/AITES EC members
CTuC corporate and individual members
more than 30 external subscribers
obligatory issues for 35 libraries and other subjects

EDITIORAL OFFICE
Dělnická 12, 170 04 Praha 7
tel./fax: 667 93 479
e-mail: matzner@metrostav.cz
internet: http://www.ita-aites.cz
Editor-in-chief: Ing. Karel Matzner
*Technical editors: Ing. Miloslav Novotný, Ing. Pavel Polák,
Ing. Jozef Frankovský*

Graphic designs: Petr Míšek

Printed: GRAFTOP

Cover photo: Regulation of the traffic before a tunnel portal

ČLENSKÉ ORGANIZACE ČESKÉHO TUNELÁŘSKÉHO KOMITÉTU A SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE ITA/AITES

MEMBER ORGANIZATIONS OF THE CZECH TUNNELLING COMMITTEE AND SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION ITA/AITES

ČTuK:

ABP, a. s.
Náměstí Hrdinů 6
140 00 Praha 4

AD SERVIS TERRABOR, s. r. o.
Bělohorská 157/188
169 00 Praha 6

AMBERG ENGINEERING BRNO, a.s.
Ptašinského 10
602 00 Brno

ANGERMEIER ENGINEERING s.r.o.
Pilovská 216
190 16 Praha 9

AQUATIS, a.s.
Botanická 56
656 32 Brno

CARBOTECH-BOHEMIA, s.r.o.
Lihovarská 10
716 03 Ostrava-Radvanice

ČERMÁK A HRACHOVEC s.r.o.
Smichovská 31
155 00 Praha 5 - Řeporyje

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

ENENRGIE KLADNO, a.s.
Vašičkova 3081
272 04 Kladno

EREBOS, s.r.o.
Malé Svatoňovice 249
542 34

GEOTEC GS, a.s.
Chmelová 2920/6
106 00 Praha 6

GEOTEST BRNO, a.s.
Šmahova 112
659 01 Brno

HONEYWELL, s. r. o.
Budějovická 1
140 21 Praha 4

ILF CONSULTING ENGINEERS, s.r.o.
Jirsíkova 5
186 00 Praha 8

INGSTAV, a. s.
Noveská 22
709 06 Ostrava - Mariánské Hory

INGUTIS, s.r.o.
Třeboradická 1/1275
182 00 Praha 8

INSET, s.r.o.
Novákových 6
180 00 Praha 8

INŽENÝRING DOPRAVNÍCH STAVEB, a.s.
Na Moráni 3
128 00 Praha 2

KANKOL, s.r.o.
Nový Jáchymov 48
267 03 Hudlice, okr. Beroun

KELLER SPECIÁLNÍ ZAKLÁDÁNÍ, s.r.o.
K Ryšánce 16
147 54 Praha 4

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

METROSTAV, a.s.
Koželužská 5
180 00 Praha 8

OKD, DBP PASKOV, a.s.
739 21 Paskov

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

PÚDIS, a.s.
Nad vodovodem 2/169
100 00 Praha 10

SATRA, s.r.o.
Podhoří 2879
276 01 Mělník

SG GEOTECHNIKA, a.s.
Geologická 4
150 00 Praha 5

SOLETANCHE ČR, s.r.o.
K Botiči 6
101 00 Praha 10

ČVUT STAVEBNÍ FAKULTA
Thákurova 7
166 29 Praha 6

VUT STAVEBNÍ FAKULTA
Veveří 95
662 37 Brno

SUBTERRA, a.s.
Bezová 1658
147 14 Praha 4

SUDOP, a.s.
Olšanská 1a
130 80 Praha 3

TUBES, s.r.o.
Londýnská 29
123 00 Praha 2

ÚSTAV GEONIKY AV ČR
Studentská ul. 1768
708 33 Ostrava-Poruba

VIS, a.s.
Bezová 1658/1
147 00 Praha 4

VOKD, a.s.
Českobratrská 7
701 40 Ostrava

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ-TU OSTRAVA
tř. 17. listopadu
708 33 Ostrava-Poruba

ZAKLÁDÁNÍ GROUP, a.s.
Rohanský ostrov
180 00 Praha 8

ŽS BRNO, a.s.
závod MOSAN
Burešova 17
660 02 Brno

STA:

BANSKÉ STAVBY, a.s.
Košovská cesta 16
971 01 Prievidza

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

DOPRAVOPROJEKT, a.s.
Kominárska 2
823 03 Bratislava

GEOCONSULT, spol. s r.o.
Drieňová 27
826 56 Bratislava

GEOMONTA, spol. s r.o.
Sebedražská cesta 7
971 01 Prievidza

GEOTECHNIK, spol. s r.o.
Spišská Nová Ves

GEOSTATIK, spol. s r.o.
Bytčická 32
010 39 Žilina

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

HYDROSTAV, a.s.
Miletičova 21
820 06 Bratislava

HYDROTUNEL
Mojmírova 14
972 01 Bojnice

HORNONITRIANSKE BANE, a.s.
ul. Matice slovenskej 10
971 71 Prievidza

CHÉMIA-SERVIS
Kopčianska 65
851 01 Bratislava

INCO, a.s.
Pri starej prachárni 14
831 50 Bratislava

INGEO, a.s.
Bytčická16
010 01 Žilina

INFRAPROJEKT, s.r.o.
Kominárska 4
823 02 Bratislava

KRIŽIK, a.s.
Solivárska 1
080 01 Prešov

MAGISTRÁT hl. m. Bratislavy
Primaciálne nám. 1
814 99 Bratislava

RUDNÝ PROJEKT HOLDING a.s.
Festivalové nám. 1
041 95 Košice

SLOVENSKÁ BANÍCKA SPOLOČNOSŤ
ul. 9. mája č. 2
974 01 Banská Bystrica

SLOVENSKÁ SPRÁVA CIEST
Miletičova 19
820 09 Bratislava

SLOVENSKÉ TUNELY, spol. s.r.o.
Lamačská 16
841 03 Bratislava

SOLHYDRO, spol. s r.o.
Ml. nivy 61, P.O. BOX 31
826 06 Bratislava

STU BRATISLAVA STAVEBNÁ FAKULTA
Radlinského 11
813 68 Bratislava

ŠPECIÁLNE ČINNOSTI, s. r. o.
Kuklovská 60
841 05 Bratislava

TECHNICKÁ UNIVERZITA KOŠICE,
Fakulta BERG
Letná 9
042 00 Košice

TERRAPROJEKT, a.s.
Podunajská 24
821 06 Bratislava

ÚSTAV GEOTECHNIKY SAV
Watsonova 45
043 53 Košice

UNIVERZITA KOMENSKÉHO
Katedra inž. geológie
Mlynská dolina
842 15 Bratislava

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

VÁHOSTAV, a.s., GR
Hlinská 40
011 18 Žilina

VODOHOSP. VÝSTAVBA, š.p.
Karloveská 2, P.O. BOX 45
840 00 Bratislava

VUIS - ZAKLADANIE STAVIEB, spol. s r.o.
Stará Vajnorská cesta 16
832 44 Bratislava

ZIPP BRATISLAVA, spol. s r.o.
Stará Vajnorská cesta 16
832 44 Bratislava

ŽELEZNICE SR, GR
Klemensova 8
813 61 Bratislava

ŽILINSKÁ UNIVERZITA
Katedra geotechniky
Komenského ul.52
010 26 Žilina

ŽELBA, a.s.
Šafárikovo nám. 4
052 54 Spišská Nová Ves



Vážené kolegyně, vážení kolegové,

jak odstranit hluk, jak projít zastavěnou oblastí, jak překonat horu? Takovou otázku si musí stále pokládat projektant dálnice, silnice, železnice. Jedna ze správných odpovědí je: tunelem. Tunel je nádherné inženýrské dílo, dílo stavařské dokonalosti. Silniční tunely mají ještě jednu zvláštnost. Život jim vdechne technolog, elektrikář, vzduchotechnik. Vše musí být dokonale řízeno, organizováno, kontrolováno.

Právě taková nabídka vyhrála v první veřejné soutěži v roce 1993 na dodávku řídicího systému, později i osvětlení Strahovského automobilového tunelu. Začalo období intenzivního vývoje, na jehož konci je dokonalý řídicí systém, schopný vést optimálně provoz tunelu, dát tunelu život. Samozřejmě možnost práce na této zakázce vedla k rozvoji řady dalších činností v naší společnosti. Výroba značek fázorové optiky, SOS skříní, proměnných informačních tabulí, rozvaděčů, ale i svítidel, světelných značek s vysokým krytím. Vše většinou v nerezu či nehořlavém, trvanlivém provedení.

Svoji vizitku máme na čtyřech českých tunelech a připravujeme rekonstrukci pátého tunelu, Letenského. Čtyři tunely nesou naši značku v dalekém Turecku. Náš řídicí systém patří do portfolia výrobků společnosti Siemens. Samozřejmě že společně s vlastní praktickou prací běží v naší společnosti i práce teoretické, na kterých se podílejí i pracoviště ČVUT. Podíleli jsme se i na české normativní základně, která je jednou z nejlepších v Evropě. I u sjednocovacího procesu ve světě jsme díky našim výsledkům.

Souběžně s vývojem tunelové techniky ve společnostech vyvíjíme i praktické aplikace systémů pro řízení dopravy. Pražský projekt řízení dopravní oblasti, pracovně nazývaný Smíchov, bude postupně během jednoho roku řídit zcela automaticky pětinu křižovatek v Praze a řidiče vizuálně informovat o stavu dopravy v oblasti.

Nedílnou součástí komunikací je dnes i veřejné osvětlení. Nechci se zde zabývat jeho smyslem, funkcí. Intenzita osvětlení má své normy, musí odpovídat intenzitě dopravy. Projekt přenesené správy osvětlení, který dnes aplikujeme ve čtyřiceti městech a obcích, přináší užitek jejich obyvatelům, šetří elektrickou energii a tím i náklady. Stejně tak, jako tunely mohou chránit své okolí před důsledky dopravy, slouží parkovací místa na parkovištích a v garážích pro ochranu dopravních prostředků. Dnes jich naše skupina provozuje ke třem tisícům. Nejen v Praze.

Před deseti lety jsem položil se svými dvěma společníky základ dnešní skupině společností Eltodo. Zapsáním tohoto jména do obchodního rejstříku jsme zahájili dlouhou cestu, jejíž první desetiletí si v těchto dnech připomínáme. V roce 1994 se na naši cestu přidal pražský Elektropodnik. Po různých změnách, úspěších i chybách v roce 1999 i Energovod, později i pražský Elektrosignál. Dnes jsme skupinou s deseti dceřinými společnostmi. Ve dvou z nich je německý a francouzský kapitál a společnost se může pochlubit, že je blízko takovým velikánům, jako je Siemens a EDF. Prostě mladá společnost s dlouhou tradicí.

Co hlavně přispělo k dynamickému rozvoji společností skupiny, ke stálému zvyšování podílu práce na českém i zahraničním trhu, k získání pozice silného konkurenta domácích i zahraničních společností? Především důvěra zákazníků, velkých i malých měst i městeček v um a sílu naší společnosti, v poctivou práci všech jejich zaměstnanců.

Dovolte mi proto i touto cestou všem poděkovat za pomoc, spolupráci, důvěru, bez níž by Eltodo nemohlo existovat.

Distinguished Colleagues,

How to remove the noise, how to cross a settled area, how to overcome a mountain? A designer of highway, road or railroad always has to ask himself such question. One of the correct answers is : by tunnel. Tunnel is a striking engineering work, a work of engineering perfection. Road tunnels have another specialty. They are endowed life by technologist, electrician, air technician. Everything has to be ultimately managed, organized, controlled.

Exactly such an offer won the first public competition for supply of controlling system, later also the illumination, for the Strahovský tunnel in 1993. Thus, the era of intensive development began, at whose end a perfect controlling system stands, able to optimally control traffic in tunnel, animate the tunnel. Naturally the possibility of work on such order lead to development of further activities within our company. Production of signs of phasor optics, SOS cases, variable information signs, distributors, but also lights, light signs with high protection level. Everything mostly in stainless, or inflammable, permanent design.

We have our mark at four Czech tunnels and prepare reconstruction of the fifth, of the Letenský tunnel. Four tunnels carry our brand in distant Turkey. Our controlling system belongs to portfolio of products of the Siemens company. Naturally, together with the practical work, also the theoretical one, on which also some CTU workplaces take part, proceeds within our company. We have also taken part on the Czech regulation base, which is one of the best in Europe. Thanks to our achievements, we also stand by the unification process in the world.

Simultaneously with research of the tunnel techniques in the companies, we also research practical applications of traffic controlling systems. The Prague project of control of the traffic area, operationally called Smíchov, will gradually during one year totally automatically control one fifth of crossroads in Prague and will visually inform the drivers of traffic status within the area.

Public lights are also integral parts of communications. I do not want to deal with its purpose or function here. The light intensity has its standards, which have to correspond to the traffic intensity. Project of the transferred administration of illumination., which we by today apply in 40 cities and towns, brings a benefit to their inhabitants, spares electrical power and thus also the expenses. In the same way as tunnel can protect their surroundings from the traffic impacts, parking spots within car parks and garages protect the traffic vehicles. By today our group operates close to 3000 of them. Not only in Prague.

10 years ago, along with my 2 companions I laid grounds for the current group of companies Eltodo. By inscribing of this name into the trade register, we commenced a long journey, whose first decade we are recalling in these days. In 1994, Elektropodnik of Prague joined our journey. After several changes, successes and mistakes, Energovod in 1999, and also Elektrosignál of Prague later on joined. By today, we are a group with ten subsidiary companies. There is a French and German capital within two of them while the association can boast that it is close to giants such as Siemens or EDF. In other words a young association with a long tradition.

What mainly contributed to dynamic development of the group's companies, to permanent increase of share of work on the Czech and foreign market, to acquirement of the position of strong competition to both domestic and foreign companies? The trust of clients, large and small cities and even towns, in the capability and strength of our company as well as in the fair work of all its employees, before all.

Therefore allow me to also use this occasion to thank to everyone for help, cooperation and trust, without which Eltodo could not exist.



Ing. Libor Hájek
prezident společnosti ELTODO, a. s.
President of ELTODO, a. s.

PROVOZ, SPRÁVA A ÚDRŽBA TUNELŮ NA ÚZEMÍ PRAHY

OPERATION, ADMINISTRATION AND MAINTENANCE OF TUNNELS IN PRAGUE

RUDOLF PELZL, ELTODO DOPRAVNÍ SYSTÉMY, s. r. o.

ÚVOD

Na úvod bych uvedl několik zajímavých informací.
První tunel byl na území hl. m. Prahy postaven v roce 1903, kdy byl ve Vyšehradské skále proražen 35 m dlouhý Vyšehradský tunel. Nejmladším dokončeným tunelem v Praze je 2 km dlouhý Strahovský automobilový tunel (SAT) z roku 1997 a poslední kompletní rekonstrukce tunelu proběhla v roce 1999 v 345 m dlouhém Těšnovském automobilovém tunelu (TAT). Dva posledně jmenované tunely jsou na dopravně velmi exponovaném místě. Tyto okolnosti, významný rozvoj řídicích systémů a určitě oprávněné zvyšování požadavků na bezpečnost provozu měly velký vliv na rozsah řídicího systému dopravního i technologického. Integrace systémů do jednoho, respektive dvou řídicích uzlů je už pouze logickým požadavkem.

Ze zákona o pozemních komunikacích je tunel součástí komunikace, a proto je správce komunikace i správcem tunelu. Provozem a správou tunelů je na území hlavního města Prahy pověřena Technická správa komunikací. Správu, provoz a údržbu cizích zařízení a inženýrských sítí, které jsou vedeny tunelem, zajišťuje vlastník nebo správce těchto zařízení a sítí, musí se však podřídit podmínkám, které mu určí příslušný správce tunelu.

PROVOZ A SPRÁVA

Sídlo odboru správy tunelů Technické správy komunikací (TSK) je v budově velínu Strahovského tunelu, ve které je i dispečerské pracoviště pro SAT a TAT. Úkolem dispečerů (pracovníků TSK) je ve 24hodinovém provozu sledovat přes řídicí systém a videodohled funkci technologií, stav komunikací

INTRODUCTION

In the introduction, I would like to mention few interesting facts. The first tunnel built within the area of the capital of Prague was the 35 m long Vyšehradský tunnel, being driven in the Rock of Vyšehrad in 1903. The youngest completed tunnel in Prague is then the Strahovský automobile tunnel (SAT) from 1997. The last complete reconstruction took place in the 345 m long Těšnovský automobile tunnel (TAT) in 1999. The last two mentioned tunnels are located at a very exposed place what traffic concerns. These circumstances, significant development of the controlling systems and definitely authorized increase of requirements on operation safety have had a large impact on the extent of the controlling system, both traffic and technological one. Integration of systems into one, respectively two controlling centers is then only a logical requirement.

By the law of roads, the tunnel is a part of the road and therefore the road administrator is also administrator of the tunnel. Technical Administration of Roads is delegated with administration and operation of tunnels within the area of the capital of Prague. Administration, operation and maintenance of other facilities and engineering nets, which are conducted throughout the tunnel, is ensured by the owner or administrator of these facilities and nets, however, he has to subordinate to conditions determined by the competent tunnel administrator.

OPERATION AND ADMINISTRATION

The seat of the department of tunnel administration of the Technical

PŘEHLED TUNELŮ NA POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH V PRAZE

OVERVIEW OF PRAGUE ROAD TUNNELS

TUNEL *Tunnel*	Rok postavení (rekonstrukce) *Year of construction (Reconstruction)*	Délka tunelu *Tunnel Length*	Nejdůležitější vybavení *Most important equipment*
Vyšehradský tunel *Vyšehradský tunnel*	1903 *1903*	36 m *36 m*	Osvětlení tunelu *Tunnel illumination*
Letenský autom. tunel *Letenský automobile tunnel*	1953 (1999) *1953 (1999)*	426 m *426 m*	Velín, osvětlení tunelu - akomodace, vzduchotechnika, TVD-dohled *Control stand, tunnel illumination - accommodation, air conditioning, TV supervision*
Žižkovský tunel pro pěší *Žižkovský tunnel for pedestrians*	1953 *1953*	280 m *280 m*	Osvětlení tunelu *Tunnel illumination*
Těšnovský autom. tunel *Těšnovský automobile tunnel*	1980 (1999) *1980 (1999)*	345 m dvě tunelové trouby *345 m Two tunnel tubes*	Velín, osvětlení tunelu - akomodace, dopravní řídicí systém - napojení na HDŘÚ, řídicí systém technologie napojení na centrální velín tunelů, EPS, SOS skříně *Control stand, tunnel illumination - accommodation, traffic controlling system- connection to MTCC, technology controlling system, connection to central tunnel control, EFA, SOS cabins*
Strahovský autom. tunel *Strahovský automobile tunnel*	1997 *1997*	2002 m dvě tunelové trouby *2002 m Two tunnel tubes*	Centrální velín, osvětlení tunelu - akomodace, dopravní řídicí systém - napojení na HDŘÚ, řídicí systém technologie, ochranný systém, EPS, SOS skříně *Central control, tunnel illumination - accommodation, traffic controlling system-connection to MTCC, technology controlling system, protective system, EFA, SOS cabins*

a stavebních částí tunelů. Dopravní část je sledována a řízena z hlavní dopravní řídicí ústředny Na Bojišti (HDŘÚ).
Správce tunelu (TSK) zpracoval na základě podkladů z dokumentace skutečného provedení základní předpisy, kde jsou rozepsány zejména individuální plány prohlídek, kontrol, revizí a údržby.

Jedná se o tyto základní dokumenty:
- Plán provádění pravidelných prohlídek a kontrol
- Plán provádění revizí
- Plán provádění údržby a oprav

Tyto základní dokumenty jsou zpracovány ve spolupráci se zhotovitelem stavební i technologické části a jsou pravidelně aktualizovány, na základě zjišťování skutečných provozních hodnot.

ÚDRŽBA A OPRAVA TUNELŮ

V tomto článku je zejména popisován stav a požadavky na údržbu technologie tunelů.
Údržba tunelů (údržba stavební části, technologických zařízení, systémů vnějších vazeb) je jednou ze základních činností, které ovlivňují zásadním způsobem bezpečnost provozu, životnost tunelu, jeho estetický dojem na uživatele a v neposlední řadě i přímo a nepřímo životní prostředí v oblasti, kde je tunel vybudován.
Pro tuto činnost je správci k dispozici ve 24hodinovém provozu servisní skupina pracovníků dodavatele, která je vyčleněna pouze pro činnost údržby a opravy tunelů ve správě TSK a je podřízena dispečerům TSK. Skupina je dislokována, včetně potřebného technického vybavení, ve velínu SAT a navíc je podporována veškerým technickým zázemím hlavní servisní skupiny včetně provozu hlavního dispečinku dodavatele.

Základní povinnosti při provádění údržby technologie a řídicích systémů tunelů:
- Provádění kontrol, provádění prohlídek, provádění revizí, provádění měření a diagnostických průzkumů, plánování údržby a oprav, plánování rekonstrukcí a modernizací přesahujících rozsahem údržbu a opravy, provádění preventivní údržby, provádění oprav, odstraňování následků havárií a poruch.

Pro provádění údržby a oprav je zpracován předpis pro každý tunel zvlášť. V případech, kdy se vzájemně dopravně nebo provozně ovlivňuje údržba několika tunelů (v tomto případě SAT a TAT), zohledňují se tyto vazby v předpisech pro údržbu těchto tunelů. Jedná se zejména o údržbu řídicího systému.

Rozdělení technologických zařízení tunelů na provozní soubory, celky a systémy:
- Dopravní systém, osvětlení tunelu, vzduchotechnická zařízení, bezpečnostní vybavení, spojovací a dorozumívací zařízení, požární zabezpečení, systém videodohledu, centrální řídicí systém, zásobování elektrickou energií, zásobování vodou, ochranný systém (SAT), čerpací stanice pro přečerpávání vod, zařízení pro údržbu.

Servisní skupina provádí pravidelně kontroly a prohlídky v intervalech a rozsazích stanovených řádem. V řádu jsou stanoveny jednotlivé úkony, rozsahy a způsob provádění měření.

Základní preventivní činností servisní skupiny a pracovníků TSK je provádění kontrol.
Při těchto kontrolách se zajišťuje zejména dozor nad komunikací, která prochází tunelem, kontroluje se, zda nedošlo k vniknutí nepovolaných osob do prostor a chodeb tunelu, zda nejsou poškozeny vstupy do objektů, vizuální kontrola nepoškození stavebních konstrukcí a technologických zařízení, kontrola chodu zařízení, která jsou v nepřetržitém provozu nebo jejich funkce může ohrozit bezpečnost provozu, osob nebo způsobit majetkové škody. Dále se prověřuje funkce zařízení, která nejsou v provozu, ale musí být zabezpečena jejich bezporuchová funkce.

Nejzákladnější odbornou činností je provádění preventivních prohlídek. Do této činnosti spadají i odborné zkoušky, revize a prohlídky vybraných elektrických a technologických zařízení, které se vykonávají ve smyslu příslušných ČSN, vyhlášek a předpisů.

Při prohlídkách se prohlížejí všechny přístupné části tunelu a zkouší se provozuschopnost všech provozních souborů či zařízení.

U tunelů (SAT a TAT) jsou tři specifické systémy, u kterých, jako u nových systémů, bylo nutno stanovit termíny preventivních prohlídek.

Administration of Roads (TAR) is in the control building of the Strahovský tunnel, where also operation services for SAT and TAT reside. The service personnel's task (TAR personnel) is to watch through the controlling system and video supervision over technology, status of roads as well as engineering parts of tunnels during 24-hour operation. Traffic part is supervised and controlled from the main traffic-controlling center Na Bojišti (MTCC).
Tunnel administrator (TAR), based on sources from documentation of the actual realization, elaborated basic directives, where especially individual plans of inspections, checks, revisions and maintenance are specified.

It concerns the following basic documents :
- Plan of realization of regular inspections and checks
- Plan of realization of revisions
- Plan of realization of maintenance and repairs
These basic documents are elaborated in cooperation with producer of the both engineering and technological part and are regularly updated, based on ascertainment of actual operational values.

MAINTENANCE AND REPAIRS OF TUNNELS

Within this article, especially the condition and requirements on maintenance of tunnel equipment are described. Tunnel maintenance (maintenance of the structural parts, technological equipment, systems of external connections) is one of the basic activities that significantly influence the operation safety, life length of the tunnel, its aesthetic impression on the user and finally yet importantly directly as well as indirectly environment in the area where the tunnel is constructed.
For this activity, there is a servicing group of employees of the contractor, which is designated solely for the activity of maintenance and tunnel repairs administrated by TAR and subordinated to the TAR operation service personnel, at hand to the administrator 24 hours a day. The group is located, together with essential technical equipment, within the SAT headquarters and moreover is supported by an entire technical background of the main servicing group, including operation of the main operation service of the contractor.

Basic duties by realization of maintenance of equipment and tunnel controlling systems are :
- Realization of checks, realization of inspections, realization of revisions, realization of measurements and diagnostic explorations, planning of maintenance and repairs, planning of reconstructions and modernizations, with its range exceeding maintenance and repairs, realization of preventive maintenance, realization of repairs, removal of consequences of accidents and breakdowns.
A separate directive for maintenance realization is elaborated for each of the tunnels. In cases when traffic or operation is mutually influenced by maintenance of several tunnels (SAT and TAT in this case), these connections are taken into consideration within directives for maintenance of these tunnels. It concerns mostly maintenance of the controlling system.

Division of tunnel equipment in operation sets, units and systems :
- traffic system, tunnel illumination, ventilation system, safety equipment, connection and communication devices, fire safety, system of video supervision, central controlling system, electric power supply, water supply, protective system (SAT), pumping stations, maintenance facilities.
Servicing group regularly performs checks and inspections in intervals and ranges determined by the directive. Within the directive, individual actions, ranges and methods of measurement are stated.
The basic preventive activity of the servicing group and of TAR employees is the realization of checks. By these checks, especially supervision over the road, which passes through the tunnel, is being ensured. It is being controlled whether unauthorized persons did not enter the tunnel areas and corridors, whether entrances are not damaged, visual check of civil engineering structures and technological equipment, check on machines and devices which are in nonstop operation or whose functions could endanger the safety of operation, persons or cause material casualties. Function of machines and devices which are not in operation, but whose trouble-free operation has to be secured, is further being verified.
The very basic specialized activity is the realization of preventive inspections. Specialized exams, revisions and checks of selected electrical and technological facilities, which are performed in the sense of correspondent ČSN standards, regulations and directives, are also included in this activity.
During the inspections, all accessible tunnel sections are being examined while operation ability of all operational sets or devices is being tested.
By the tunnels (SAT and TAT), there are three specific systems by which, such as by new systems, it was necessary to determine dates of preventive inspections.



Obr. 1 Úvodní obrázek
Fig. 1 Introduction figure

DOPORUČENÉ INTERVALY ÚDRŽBY PRO DOPRAVNÍ SYSTÉM

RECOMMENDED MAINTENANCE INTERVALS FOR THE TRAFFIC SYSTEM

Dopravní systém ***Traffic system***	týdně *weekly*	měsíčně *monthly*	půlročně *6 months*	ročně *yearly*	každé 2 roky *every 2 years*	5 roků *5 years*	10 roků *10 years*
Funkčnost řídicího systému dopravy *Operation of the traffic controlling system*				X			
Venkovní značení (PDZ, světelné značky) *Outdoor signs (PTS, light signs)*				X			
Dopravní návěstidla *Traffic tables*		X					
Statické dopravní značení *Static traffic signalization*			X				
Světelné návěstí *Illuminated boards*		X					
Zařízení pro provozní informace *Device for operational information*			X				
Funkčnost dopravních detektorů *Operation of traffic detectors*		X					
Funkčnost měření výšky vozidel *Operation of vehicle height measurement*		X					

DOPORUČENÉ INTERVALY ÚDRŽBY PRO BEZPEČNOSTNÍ SYSTÉM

RECOMMENDED MAINTENANCE INTERVALS FOR THE SECURITY SYSTEM

Bezpečnostní zařízení ***Security devices***	týdně *weekly*	měsíčně *monthly*	každé 3 měsíce *every 3 months*	půlročně *every 6 months*	ročně *yearly*	každé 2 roky *every 2 years*	každé 3 roky *every 3 years*	každý 5 rok *every 5 years*	každý 10 rok *every 10 years*
SOS skříně ***SOS cabins***									
- mytí skříně vně i zevnitř - *cabin washing from inside and outside*		X							
- dotažení spojů v rozvaděči - *sealing of links in the distribution*					X				
- revize elektrického zařízení - *revision of the electronic equipment*				X					
- revize hasících přístrojů - *revision of the fire extinguishers*					X				
- výměna zdrojů ve světelných značkách (D22), piktogramech ... - *source exchange in the light signs (D22), pictograms*					X				
- kontrola funkce telefonu, spojení s dispečinkem - *control of phone functions, connection with the operation service*		X							
- kontrola lékárničky a dalšího bezpečnostního vybavení - *control of first aid box and other security equipment*					X				
- kontrola SOS tlačítek - *control of SOS buttons*			X						
Měření CO a opacity ***CO and opacity measurement***									
- čištění senzorů - *cleaning of sensor*			X						
- celková revize systému - *total system revision*			X						

DOPORUČENÉ INTERVALY ÚDRŽBY PRO ŘÍDICÍ A KOMUNIKAČNÍ SYSTÉM

RECOMMENDED MAINTENANCE INTERVALS FOR THE CONTROLLING AND COMMUNICATION SYSTEM

Řídicí systém *Security devices*	týdně *weekly*	měsíčně *monthly*	každé 3 měsíce *every 3 months*	půlročně *every 6 months*	ročně *yearly*	každé 2 roky *every 2 years*	každé 3 roky *every 3 years*	každý 5 rok *every 5 years*	každý 10 rok *every 10 years*
Měření fyzikálních parametrů ***Measurement of physical parameters***									
- revize rozvaděčů, vedení, spojení *revision of switchboards, conductors, connection*					X				
- kontrola funkce měření (teploty, tlaky, vibrace ...) *control of measurement functions (temperatures, pressures, vibrations...)*				X					
- vnější čištění čidel *outer cleaning of sensors* - kontrola měření námrazy *check on rime measurement*			X		X				
Řídicí pracoviště ***Controlling workplace***									
- čištění povrchů všech zařízení *surface cleaning of all devices*	X								
- funkce tabla, nouzové ovládání *tablet functions, emergency control*	X								
- centrální řídicí systém, celková revize rozvaděčů, kabeláže, napájení *central controlling system, global revision of distributors, cables, power input*	X								
Programové vybavení ***SW equipment***									
- kompletní funkční vazby na úrovni I i II podle provozních řádů *complete function relations on the I and II level according to Operation Directives*				X					
- databáze, deníky lokální i nadřazené úrovně *databases, journals of local and superior level*			X						
- telekomunikační vazby bezpečnostních systémů *telecommunication relations of security systems*		X							
- základní programové vybavení lokálního systému *basic SW equipment of the local system*				X					
- základní programové vybavení nadřazených systémů *basic SW equipment of the superior systems*				X					
Řídicí stanice v tunelu ***Controlling stations in the tunnel***									
- kontrola rozvaděčů, propojení ... *control of switchboards, connection*				X					
Mozaikové tablo ***Tablet mosaic***									
- čištění čelní plochy *cleaning of the front area*			X						

ZÁVĚREM O ZÁKLADNÍCH ZÁSADÁCH PRO ORGANIZACI ÚDRŽBY A OPRAV

Údržbovou činnost významně ovlivňuje způsob jejího zajištění, zda se jedná o údržbu zajišťovanou vlastními pracovníky a technikou, nebo dodavatelským systémem. Způsob je závislý na volbě a možnostech správce tunelu. Na základě předepsaných intervalů údržby, výsledků prohlídek a revizí je třeba plánovat nasazení personálu údržby, techniky, dopravní a provozní omezení. Zejména posledně uvedené body výrazně ovlivňují plánování těchto činností.

Zvláštním případem je údržba vysoce specializovaných zařízení a systémů, kterými jsou například počítačové a komunikační systémy. Pro ty je potřeba slučovat dopravní a provozní omezení s možností odpojení řídicích systémů.

Řádná i mimořádná údržba a opravy jsou pak zajištěny na smluvním principu s externími organizacemi. V příslušných smlouvách jsou definovány i dosažitelnosti pracovníků a doby k nástupu na odstranění poruch včetně příslušných sankcí.

Všechny údržbové činnosti se realizují se zřetelem na zabezpečení provozu nebo jeho minimální omezení, vlivy na životní prostředí a bezpečnost pracovníků údržby a účastníků silničního provozu.

LASTLY ABOUT ESSENTIAL RULES FOR ORGANIZATION OF MAINTENANCE AND REPAIRS

Maintenance activity is significantly influenced by the method of its provision, whether it concerns maintenance realized by own employees and equipment and by supplied system. The method is dependent on a choice and options of the tunnel administrator. Based on determined intervals of maintenance, results of inspections and revisions, it is necessary to plan deployment of maintenance personnel, equipment, traffic and operational limitations. Especially the last mentioned points greatly influence planning of these activities. Maintenance of highly specialized devices and systems, for instance computer and communication systems, is a case for itself. For those it is necessary to connect traffic and operational limitations with the possibility of disconnection of the controlling systems. Regular as well as extraordinary maintenance and repairs are then ensured on the contractual principle with external organizations. Within the correspondent contracts, also availabilities of the workers, times of their deployment to removal of breakdowns, including correspondent sanctions, are defined. All of the maintenance activities are being realized with regards to provision of operation or its minimal limitation, to environmental impacts, to safety of maintenance workers as well as traffic participants.



Obr. 2 Budova velínu SAT
Fig. 2 SAT control building



Obr. 4 Skříně SOS (SAT)
Fig. 4 SOS cabins (SAT)



Obr. 3 Dispečerské pracoviště - velín SAT
Fig. 3 SAT control stand



Obr. 5 Východní portál TAT
Fig. 5 TAT eastern portal



Obr. 6 Jižní portál SAT
Fig. 6 SAT southern portal

TUNELY VE MĚSTĚ BRNĚ

TUNNELS IN BRNO

ING. ANTONÍN HAVLÍČEK, ELTODO DOPRAVNÍ SYSTÉMY, s. r. o.

TROCHA HISTORIE

Na počátku byl záměr. Tím záměrem bylo pomoci městu Brnu s jeho zastaralou silniční sítí. Přenesme se o takových 20 či 30 let zpátky. Ti dříve narození si jistě i dnes vzpomenou na tradiční uvítání, které mu město Brno poskytlo, když jeho vůz najel na městské komunikace. Bezděčně, aniž by byl pouze veden snahou vzorně dodržovat dopravní předpisy, snížil rychlost svého vozu a svou pozornost začal věnovat výhradně projížděné komunikaci. Nic jiného mu ani nezbývalo, pokud nechtěl sklidit kritiku osádky vozidla za nečekané poskakování vozu a sám začal prožívat strach, zda jeho vozidlo přečká cestu bez úhony. Velkou pozornost, alespoň ti mimobrněnští, pak museli věnovat orientaci ve spletité síti ulic a uliček, kde vysledovat hlavní trasy pohybu vozidel nebylo vůbec jednoduché. A tak potkat poměrně dezorientované osádky vozidel hledající pomoc u soucitných Brňanů nebylo vůbec těžké. Jistě, můžete si říci, že poněkud přeháním, ale sám si na tu dobu živě vzpomínám. Dnes s odstupem doby však musím říci, že už s úsměvem a s určitou nostalgií.

KONCEPČNÍ ROZVOJ

Dnešní situace je, na rozdíl od té zmiňované, opravdu podstatně jiná. Rozvoj silniční dopravy ve městě byl v posledních letech skutečně dynamický. Zcela zásadním krokem vpřed bylo rozhodnutí o vybudování velkého městského okruhu (dále jen VMO). Nejen tato postupně probíhající stavba posouvá dopravu ve městě Brně vpřed mílovými kroky. Mnoho milionů je například každoročně investováno do oprav povrchů, zvýšení kapacity komunikací a postupné rekonstrukce a výstavby nových světelně signalizačních zařízení pro řízení provozu na dopravou zatížených křižovatkách. Vrcholové řízení provozu na křižovatkách pak zabezpečuje moderní dopravní řídicí ústředna pro řízení silniční dopravy v reálném čase. A na kvalitě řízení velmi záleží. Vždyť pro dobudování VMO dělá město Brno skutečně maximum.

Trasa VMO, která má řidičům v budoucnu umožnit průjezd městem Brnem, nadneseně řečeno za několik minut, vede komplikovaným a členitým terénem. Kopcovitý městský terén, ať už se jedná o Červený kopec, Žlutý kopec a další stojící v cestě stavbě VMO, komplikoval od počátku situaci v souvislosti s projekčním zpracováním návrhu trasy VMO. Proto bylo v konečné verzi přijato rozhodnutí, že na trase VMO bude nutno vybudovat i několik tunelů. V současné době jsou to reálně čtyři tunelové stavby. Tento počet však nemusí být konečný. O definitivním vedení trasy některých chybějících úseků VMO není dosud rozhodnuto.

TUNELY NA TRASE VMO

Prvním tunelem vybudovaným na trase VMO byl tunel Pražská radiála, dnes Pisárecký tunel. Tento tunel délky 500 m protíná kopec Strážní vrch a sjezdovými rampami přivádí dopravu sjezdem z dálnice ve směru od Prahy k brněnskému výstavišti a tvoří v neposlední řadě reprezentativní vjezd do města. Druhým tunelem na trase je plánovaná výstavba mimoúrovňového křížení VMO MÚK – Hlinky. Tato stavba délky 300 m bezprostředně navazuje na Pisárecký tunel a převede dopravu přes komplikovaný dopravní uzel Hlinky/ulice Žabovřeská, který v současné podobě dobudování VMO zásadně komplikuje. Třetím na trase je pak plánovaný tunel Dobrovského. Tunel délky 1250 m protne příčně městskou část Královo Pole a v rámci svých předpolí vzájemně propojí dvě nově budovaná napojení na Hradeckou a Svitavskou radiálu. Čtvrtým tunelem na dosud známém úseku řešení trasy VMO je již vybudovaný tunel Kohoutova, dnes Husovický tunel. Délka tunelu je 600 m a protíná vyvýšené území městské části Černá Pole s vyústěním před komplikovanou křižovatkou na Tomkově náměstí.

CENTRÁLNÍ TUNELOVÝ DISPEČINK A ZPŮSOB ŘÍZENÍ PROVOZU V TUNELECH

Společnost ELTODO dopravní systémy, spol. s r. o., se prostřednictvím své brněnské divize od počátku významně podílí na řešení technologického vybavení tunelových staveb ve městě Brně.

Zcela zásadním vývojovým krokem v oblasti řízení tunelových staveb na území města Brna bylo rozhodnutí o vypsání veřejné obchodní soutěže na stavbu Centrálního tunelového dispečinku. Tento dispečink (dále jen CTD) nebyl výmyslem pro utrácení přebytečných peněz, ale jeho potřeba zcela reálně vyvstala v rámci probíhající investiční výstavby, v rámci které byly do té doby postaveny již dvě tunelové stavby, a to Pisárecký a Husovický tunel. Narůstající režijní náklady především v oblasti mezd pracovníků provozu tunelových staveb vedly k potřebě nalézt perspektivní a úsporné řešení pro

A LITTLE BIT OF HISTORY

There was an intention in the beginning. The intention was to help the city of Brno with its obsolete road network. Let us go back some 20 or 30 years. Those earlier born certainly still today recall the traditional welcome that the city of Brno offered, when their cars drove into the city communications. Unconsciously, not even being driven by a strive to strictly maintain traffic regulations, a driver slowed down his car and started to devote his attention entirely to the passing road. There was no other option anyway if he did not want to hear complaints from the vehicle passengers about sudden car bumps, and himself started to fear whether the car would survive the journey without a harm. At least the non-Brno residents also had to pay large attention to orientation in the mazy network of streets and lanes, where it was not easy to keep track of the main routes of the traffic at all. And therefore, it was not very hard to meet relatively disoriented vehicle crews, searching for help by the merciful Brno residents, either. Of course, you can claim that I am exaggerating a bit, but I do remember that time lively myself. Today however, after a course of time I am remembering it, with a smile and certain nostalgia.

CONCEPT OF DEVELOPMENT

The current situation is, unlike the aforementioned one, significantly different. Development of road traffic in the city has been really dynamic in the previous years. A decision to build a large city ring road (further LCRR) was an essential step forwards. Not only this ongoing construction pushes the traffic in Brno forward with mile steps. For instance, many millions are invested every year into road pavement rehabilitation, increase of roads' capacity, gradual reconstruction and construction of new traffic light facilities for the control at crossroads burdened with traffic. The superior operation control at crossroads is provided by modern traffic controlling headquarters for control of road traffic in a real time. And the quality of control is what really matters. The city of Brno really does its best for completion of the LCRR.The LCRR route, which should in future allow the drivers to pass through Brno in literally several minutes, leads through a complicated and broken terrain. The hilly city terrain, no matter whether it is the Red hill, Yellow hill or other hills standing in the way of the LCRR construction, from the very beginning complicated the situation regarding elaboration of the LCRR alignment proposal. For that reason a decision was adopted in the final version that several tunnels will have to be built on the LCRR route. Currently it realistically means 4 tunnel structures. This number, however, does not have to be final. It has not been decided about the alignment at some missing LCRR sections yet.

TUNNELS ON THE LCRR ROUTE

The Prague Radial tunnel, currently called the Pisárecký tunnel, was the first tunnel built on the LCRR route. This 500 m long tunnel cuts the hill Strážní vrch and through off-ramps brings the traffic to exit from highway in the direction from Prague to the Exhibition palace of Brno and last not least forms a representative entrance to the city. The planned construction of the Hlinka's grade-separated intersection is the second tunnel on the LCRR route. This 300 m long structure immediately connects to the Pisárecký tunnel and transfers the traffic through a complicated crossroads Hlinka's/Žabovřeská street, which in the current condition severely complicates the LCRR completion.Dobrovského tunnel is then the third planned on the route. The 1250 m long tunnel will laterally cut through the city part Královo Pole and, through its pre-portal sections, will interconnect the newly constructed connections to Hradecká and Svitavská radials. An already completed tunnel Kohoutova, currently Husovický tunnel, is the fourth tunnel on the so far known section of the LCRR route proposal. The 600 m long tunnel cuts through an elevated area of the city part Černá Pole with exit in front of the complicated crossroad at the Tomkovo square.

TUNNEL CONTROL CENTER AND THE METHOD OF TRAFFIC CONTROL IN TUNNELS

The company ELTODO dopravní systémy ltd. has through its division in Brno since the very start been taking part in solution of technological equipment of the tunnel structures in Brno.A decision to call a public tender for construction of a building for the Tunnel Control Center proved to be an essential step of development in the field of management of tunnels within the area of Brno. This Tunnel Control Center (further only TCC) was not a silly idea how to waste a surplus money, but its need very realistically arose within the frame of the ongoing capital construction, within which already two tunnels have been built so far, namely the Pisárecký tunnel and the Husovický tunnel.

správu, řízení a údržbu všech nynějších i dalších plánovaných tunelů. Nejefektivnější metodou řešení bylo jednoznačně vybudování centralizovaných pracovišť jak pro dopravní řízení tunelů, tak pro jejich provozní zabezpečení. Společnost ELTODO dopravní systémy přesvědčila investora úrovní své soutěžní nabídky a dále pak i vlastní realizací, že nemusí mít obavu svěřit tuto náročnou, a do té doby zakázku obdobného typu v České republice nerealizovanou, tuzemské společnosti podnikající v oblasti řízení silniční dopravy.

Tunelové stavby v Brně jsou tedy v současné době již řízeny z pracoviště Centrálního řízení dopravy Policie ČR na ulici Kounicově (dále jen CŘD). Pracoviště Policie ČR je kromě vlastního dispečerského pracoviště s ovládací klávesnicí vybaveno estetickou nábytkovou stěnou s kapacitou pro 16 televizních monitorů pro sledování provozu jak ve vlastních tunelech, tak na jejich předpolích a v neposlední řadě digitálními komunikačními prostředky. Pracoviště se stejnými možnostmi pro řízení dopravy v tunelech doplněné navíc o pracoviště určené pro dohled a ovládání technologických zařízení vybavení tunelů je dále umístěné v prostorách Centrálního tunelového dispečinku Brněnských komunikací, a. s., na ulici Renneské (dále jen CTD).

I zde je také umístěna nábytková stěna pro 16 televizních monitorů pro dohled nad provozem v tunelech, veškerá záznamová technika, komunikační zařízení a celá řada dalších technických zařízení. Provoz CTD je nepřetržitý a jeho pracovníci vykonávají pravidelný dohled nad technickým stavem tunelových staveb a v případě nestandardních stavů také do určité doby organizují zásah potřebných záchranných jednotek.

Součástí náročného technického řešení řady dílčích úkolů v rámci stavby CTD bylo také vytvoření komunikačního a datového spojení mezi bezobslužnými velíny jednotlivých tunelů s dispečerskými pracovišti. Z důvodů ekonomických úspor byla pro tyto účely využita stávající síť koordinačních kabelů vybudovaná původně pro řízení světelné signalizace, jejíž stáří však v určitých úsecích přesáhlo i 20 let. Navíc typově jsou tyto kabely určeny především pro telekomunikační přenosy. Z toho vyplývala určitá omezení, která se projevila především v kvalitě přenosu televizního obrazu. V současné době jsou tyto kabely postupně nahrazovány v důležitých úsecích optickými kabely, což posune kvalitu přenosu výrazně vpřed. Paralelně s kabelovou trasou byla vystavěna další trasa mikrovlnnými anténními spoji. Tato přenosová trasa má dvě samostatné větve. Jedna je určena pro přenos televizního obrazu a druhá pro datové přenosy. Větev přenosu televizního obrazu musela být vzhledem ke komplikovanému členitému terénu v Brně propojena přes dva retranslační body. Vyladění takového spoje bylo velmi náročné i pro úzce specializovanou firmu. Obě přenosové trasy, tedy kabelová a anténní, vytvářejí vzájemnou zálohu jak přenášených dat, tak obrazů prostřednictvím speciálního SW. Je tedy zřejmé, že pro bezpečnost komunikačních a datových přenosů, a tím i provozu v tunelech bylo uděláno maximum.

Velmi složitým úkolem v rámci řešení dispečerských pracovišť CTD a CŘD bylo také vytvoření jednotné HW a SW platformy pro oba do té doby odlišně řešené tunely a vytvoření přesně definovaných podmínek pro připojení dalších tunelových staveb v Brně.

ORGANIZAČNÍ PŘEDPISY A OPATŘENÍ

Dalším přínosem společnosti ELTODO dopravní systémy při budování systému řízení tunelových staveb v Brně byla příprava dokumentací určených pro správu a provoz těchto staveb. Jak pro Pisárecký, tak pro Husovický tunel byla vypracována "provozní dokumentace" popisující rozsáhlým a vyčerpávajícím způsobem podmínky správy a provozu celé stavby. Stejná dokumentace byla v neposlední řadě zpracována i pro pracoviště CTD a CŘD. Významným krokem vpřed v rámci organizačních opatření bylo vypracování "operativních karet". Na jejich vzniku se podíleli vrcholoví zástupci všech organizací dotčených případnými záchrannými pracemi, zástupci provozovatele tunelu, Policie ČR a v neposlední řadě také naší společnosti.

Operativními kartami byla vybavena obě dispečerská pracoviště, velitelé a osádky vozidel všech záchranných složek. Vlastní karty řeší součinnost záchranných jednotek při zásazích všech druhů, a to od těch jednoduchých až po skutečně závažné havárie. Funkčnost přijatých organizačních opatření byla již vyzkoušena v rámci dvou cvičných zásahů v tunelech. V rámci těchto cvičení byly simulovány dopravní havárie, poranění osob i požár havarovaných vozidel. Příjemným poznatkem cvičení, na němž se shodli velitelé všech záchranných složek, bylo, že organizační opatření přijatá v rámci "provozních dokumentací" a "operativních karet" byla prověřena a jejich platnost potvrzena beze změny. Je tedy velmi pravděpodobné, že stejným způsobem bude příprava organizace pokračovat i u dalších tunelových staveb v Brně. To je velmi pozitivní, neboť příprava dalších tunelových staveb velmi rychle pokračuje.

Pojďme si technologii jednotlivých tunelů, tak jak jsou na trase za sebou umístěny, trochu přiblížit.

PISÁRECKÝ TUNEL

První silniční tunel, který byl v Brně postaven. Nutno říci, že právě proto byla dodávka technologického vybavení investorem svěřena renomovanému zahraničnímu dodavateli, firmě Siemens. Postupem doby, jak se zvyšo-

Increasing overhead expenses especially in the field of wages for workers in operation of tunnel structures led to the need for finding a prospective and economic solution for administration, management and maintenance of all current as well as other planned tunnels. The most effective method of solution was certainly a construction of specialized workplaces both for tunnel traffic control and for their operational background. The company ELTODO dopravní systémy convinced the investor by level of its tender and further also by the realization itself to have no doubts to entrust an inland company, enterprising in the field of road traffic control, with this order, by type up until then never realized within the Czech republic.

Tunnel structures in Brno are thus already now managed from a workplace of Central Traffic Control of the Police of Czech Republic in Kounicova street (further only CTC). The workplace of Police of CR is, beside its own control stand with controlling keyboard, equipped with aesthetic wall fitment with capacity for 16 tv monitors for supervision of traffic both in the tunnels themselves and their pre-portal sections, and last but not least with digital means of communication.Workplace with the same possibilities for tunnel traffic control, with additional workplaces designated for supervision and control of technological devices of the tunnel equipment, is further located in areas of the TCC of the Roads of the city of Brno a.s. in Renneská street. Also here, there is a wall fitment for 16 monitors for supervision over traffic in tunnels, entire recording equipment, communication devices as well as entire row of other technical devices.The TCC operates nonstop and its workers perform a regular supervision over the technical condition of tunnel structures and in case of non-standard conditions to a certain time organize an intervention of required rescue units. The creation of communication and data connection among the unmanned control stands of individual tunnels with the CTC and TCC workplaces was a part of a complex technical solution in a row of partial tasks within the frame of TCC construction. From economic reasons, a current network of coordinating cables, constructed formerly for a light signalization control, whose age in certain sections exceeded 20 years, was used for these purposes. Moreover, these cables are by type designed especially for telecommunication transmissions . Certain limitations derived from this fact and proved mostly in quality of the transmitted television images. Currently, within the important sections these cables are being gradually replaced with optical cables, which will significantly push the transmission quality forwards. Parallely with the cable path, another path of microwave antennal links was constructed. This transmission path has two separate branches. One is designed for transmission of television images while the other for data transmission. With regards to the complicated broken terrain in Brno, the branch for television images had to be connected through two retranslation points. Calibration of such link was very demanding even for such highly specialized company. Both transmission paths, cable and antennal ones, create a mutual backup copy of transmitted data as well as images using a special SW. It is therefore obvious that maximum has been done for security of both communication and data transmissions and thus even for safety of operation in tunnels.Also a creation of a uniform HW and SW platform for up until then two separately solved tunnels and formation of strictly defined conditions for connection of other tunnel structures in Brno were very complicated tasks within the frame of solutions of operation service workplaces TCC and CTC.

ADMINISTRATIVE REGULATIONS AND MEASURES

A preparation of documentations for administration and operation of these buildings was another contribution of the company ELTODO dopravní systémy by construction of the control system of tunnel structures in Brno. Both for the Pisárecký and the Husovický tunnel, an "Operational Documentation", describing extensively and comprehensively the conditions for administration and operation of the entire structure, was elaborated. Last but not least, same documentation was elaborated for the workplaces TCC as well as CTC. Elaboration of the so-called "Operative cards" was a significant step forwards within the frame of administrative measures. Top representatives of all organizations involved in possible rescue works, representatives of the tunnel operator, Police of the Czech Republic and finally yet importantly representatives of our company all took part in their creation.Both operation service workplaces, commanders and crews of vehicles of all rescue units have been equipped with the operative cards. The own cards are solving cooperation of rescue units at all kinds of interventions, from very simple ones to really serious accidents. Utility of adopted administrative measures has already been tested during two simulation interventions in tunnels. Within the frame of these practices, traffic accidents, human injuries as well as fire of crashed vehicles were simulated. It was pleasant ascertainment of the simulation, on which commanders of all rescue units agreed, that the administrative measures adopted within the "Operational Documentation" and "Operative cards" were verified and their validity confirmed without alteration. It is therefore very probable that preparation of administration will be going on by other tunnel structures in Brno in the same way. That is very positive, because preparation of other tunnel structures advances very quickly.

Let us look at technologies of the individual tunnels, as they are located on the route one after another, in detail:

valy tuzemské odborné znalosti v oblasti řízení tunelů a především pak v souvislosti s téměř současným zprovozněním Strahovského tunelu v Praze, vznikala zahraničním partnerům tuzemská konkurence. Tou konkurencí se stala, tehdy ještě nenápadně, společnost ELTODO, a. s.

Krátce stojí za zmínku, že v roce 1999 byl řídicí systém Pisáreckého tunelu v rámci řešení výstavby dispečinku CTD zásadně upraven především v části řídicího systému, a to jak po stránce hardwaru, tak i softwaru. Po těchto úpravách byl zcela plnohodnotně začleněn do systému centrálního řízení tunelových staveb v Brně.

Závěrem jen uvedu poznámku, ve které mi snad dáte za pravdu: Byť je to stavba dopravní a technologicky složitá, je současně krásná a dělá městu čest.

MIMOÚROVŇOVÉ KŘÍŽENÍ VMO MÚK – HLINKY

Ze dvou připravovaných tunelových staveb na trase VMO je první na trase těsně za Pisáreckým tunelem stavba VMO MÚK–Hlinky. Zde již byla v roce 2001 dokončena dokumentace pro stavební řízení a brněnská divize ELTODO dopravní systémy byla hlavním projektantem technologických provozních souborů stavby, které zpracovala společně s několika projekčními specialisty.

Tunel VMO MÚK – Hlinky je poněkud atypický, a to především proto, že je ze dvou třetin své délky jednostranně otevřenou galerií. Toto netradiční stavební řešení se promítlo do zpracování projektů některých technologických provozních souborů. Především to bylo osvětlení a vzduchotechnika tunelu. Osvětlení tunelu je navrženo tak, že respektuje vliv denního světla, které proniká do tunelu otevřenou galerií. Vzduchotechnický výpočet zohledňuje provětrávání tunelu galerií přirozeným tahem i pístovým efektem vyvolaným jedoucími vozidly. Pro podporu větrání v tunelu jsou navrženy atypicky jednostranně umístěné ventilátory pro podélné proudění. Tunel je jednosměrný a nepředpokládá se za žádných podmínek obousměrný provoz.

Řešení všech provozních souborů bylo již navrženo s ohledem na koncepci CTD. Rozvodna tunelu MÚK – Hlinky byla proto koncepčně navržena jako rozšiřující rozvodna Pisáreckého tunelu, což bylo umožněno především vzdáleností této rozvodny zhruba 1000 m od velínu a rozvodny Pisáreckého tunelu. Rozvodna tunelu řeší zásobování silnoproudých, slaboproudých a řídicích technologických zařízení elektrickou energií vč. zálohování náhradním zdrojem elektrické energie. S velínem Pisáreckého tunelu bude propojena optickým kabelem a veškeré řídicí a dohledové funkce budou začleněny do řídicího systému právě Pisáreckého tunelu. Tím se velmi zjednoduší způsob začlenění tunelu VMO MÚK – Hlinky do systému CTD, a tedy jednotného řízení tunelů v Brně.

Tunel je vybaven veškerými bezpečnostními zařízeními nutnými pro bezpečný provoz v městské aglomeraci. V prvé řadě jsou to skříně a hlásky záchranného systému SOS s přímou telefonickou provolbou na pult dispečerů CTD. Současně je ve skříních prostřednictvím symbolů možnost informovat dispečink o problémech spojených s havárií či poruchou vozidla, požárem nebo zdravotními problémy účastníků silničního provozu. Spojení prostřednictvím ovladačů se symboly je pro zjednodušení komunikace určeno především zahraničním návštěvníkům, postiženým spoluobčanům nebo lidem nacházejících se v určitém stavu šoku. Stejně tak však slouží i ostatním občanům.

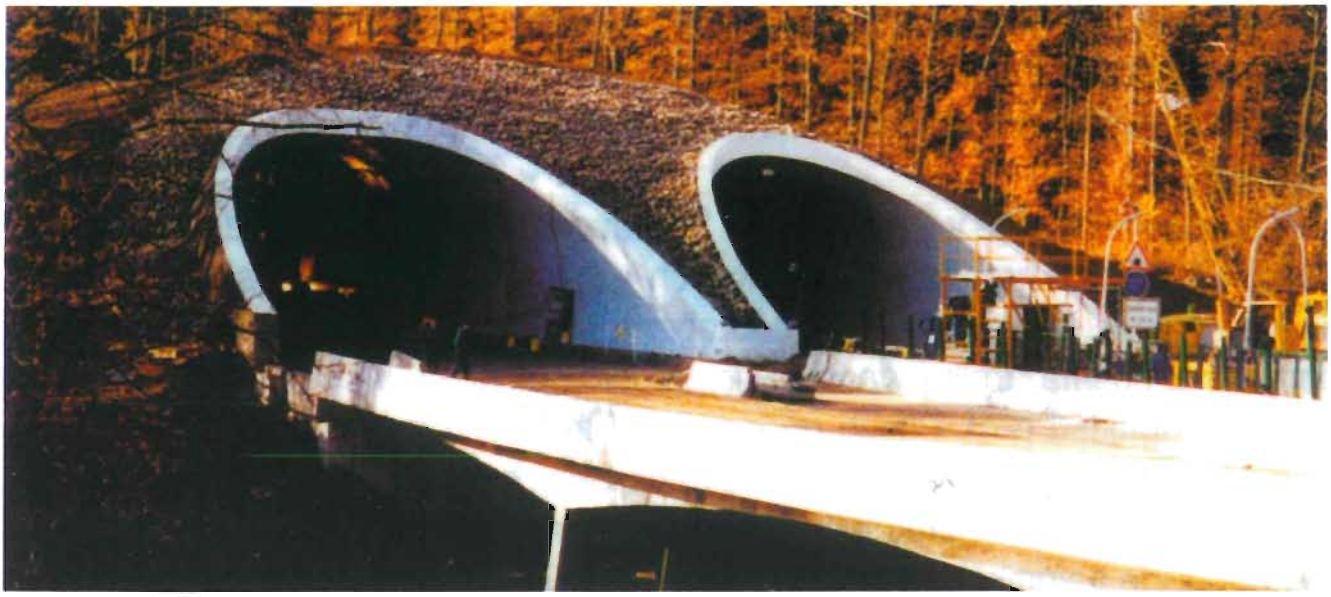
V souvislosti s užíváním skříní SOS se často objevuje ze strany řidičů určitá obava, že v případě navázání telefonního spojení prostřednictvím těchto skříní budou muset zaplatit výjezd dispečerské služby. To je zcela mylná domněnka. V případě oprávněného spojení z výše uvedených důvodů se

PISÁRECKÝ TUNNEL

The first road tunnel, which was built in Brno. Important to say that this is exactly why the supply of technological equipment was entrusted to reputable foreign supplier, the Siemens company. With the course of time, as the inland professional knowledge in the field of tunnel management advanced and especially in coherence with almost simultaneous putting into operation of the Strahovský tunnel in Prague, an inland competition to foreign partners arose. The company ELTODO a.s., then still inconspicuously, also happened to be that competition.It is worth mentioning that the controlling system of the Pisárecký tunnel was within the frame of solution of CTOS construction essentially modified especially in the controlling system's part, both concerning hardware and software in the year 1999. Following these modifications, it was fully integrated into the system of central management of tunnel structures in Brno.In conclusion, I would only state, hopefully you will agree with me : although the structure is a traffic one and technologically complex, it is meanwhile beautiful and serves the city with honor.

LCRR HLINKA'S GRADE SEPARATED INTERSECTION

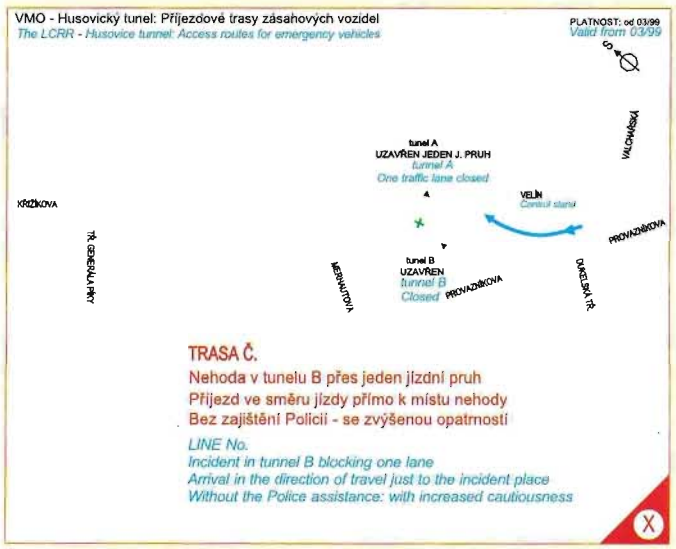
From the two tunnel constructions in preparation on the LCRR alignment, the first one is located closely beyond the Pisárecký tunnel, and thus LCRR Hlinka's OLI. Documentation for engineering management was already completed here in 2001 while the ELTODO dopravní systémy, division of Brno was the main designer of technological operational sets of the construction, which it elaborated in cooperation with several design specialists.Tunnel LCRR Hlinka's OLI is a little bit atypical, especially because it is from two-thirds of its length a one-sided open gallery. This unconventional engineering solution influenced the elaboration of designs of some technological operational sets. Before all, those were illumination and air-conditioning. The illumination is designed so that it respects the role of daylight, which penetrates the tunnel through the open gallery. The air-conditioning calculation takes into consideration tunnel ventilation through gallery both by natural draught as well as piston effect of the passing vehicles. In order to support air ventilation, atypical unilaterally located ventilators for axial circulation are designed. The tunnel is one-way while two-way traffic is expected under no circumstances.Solution of all operational sets was already designed with regards to the TCC concept. Hlinka's OLI tunnel's distribution stations was conceptually designed as an extending distribution station of the Pisárecký tunnel, what was initially allowed by the 1000 m distance from the control stands and distribution station of the Pisárecký tunnel. A tunnel distribution station solves a supply of high-current, low-current and controlling technological facilities with electric power, including alternative source of electric power. It will be connected with control stands of the Pisárecký tunnel by an optical cable while all controlling and supervision functions will be integrated into controlling system of this very tunnel. Therefore, integration of the Hlinka's OLI tunnel into the TCC system and thus into the uniform tunnel management Brno will be significantly simplified.The tunnel is equipped with all safety measures essential for safe traffic within an urban agglomeration. Firstly, it is telephone cabins and roadside telephone boxes of the SOS rescue system with direct phone line to desks of TCC personnel. Meanwhile, one can inform the operation service about problems linked to an accident, vehicle breakdown, fire or health problems of road traffic participants through symbols in the cases. The connection using panels with symbols is with its simplified communication designed especially for foreigners, disabled citizens or people in the state of shock. However, it



Obr.1 Pohled na portál Pisáreckého tunelu
Fig. 1 View of the Pisárecký tunnel portal



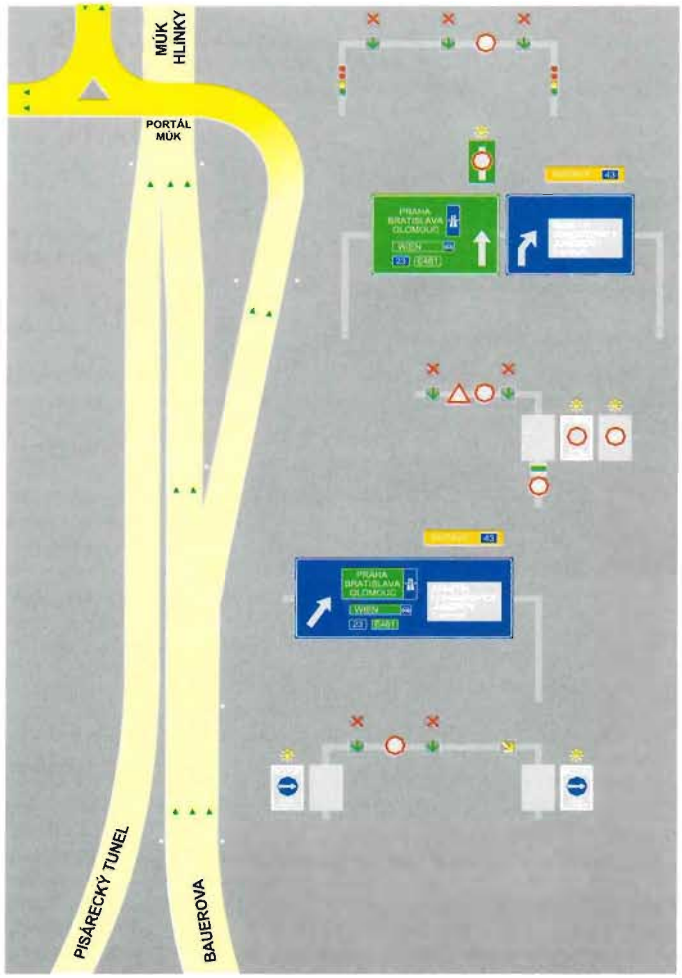
Obr. 2 Dispečink CTD Brněnských komunikací, a. s.
Fig. 2 TCC Control Center of the Roads of the City of Brno



Obr. 3 Vzor „operativní karty"
Fig. 3 Example of an „Operative card"

jedná samozřejmě o zcela bezplatnou službu, která má za cíl pomoci postiženým účastníků silničního provozu a provést organizační opatření, která by vedla k co nejrychlejšímu obnovení provozu v tunelech.
Dalším bezpečnostním zařízením je požární bezpečnostní signalizace. Tato je tvořena především liniovým požárním kabelem (resp. hlásičem) zavěšeným pod stropem tunelu signalizujícím zvýšení teploty nebo požár v dílčích úsecích po celé délce tunelu. Tato signalizace je automaticky svázaná s činností televizního dohledu v tunelu. Stejná součinnost je také v případě aktivace, resp. vstupu do některé z SOS skříní. Technologické prostory rozvodny jsou proti vniknutí nežádoucí osoby chráněny zabezpečujícím systémem. Samozřejmou součástí je již zmiňovaný systém telefonního spojení přímo na pult dispečerské služby. Celý tunel a jeho poměrně složité předpolí jsou vybaveny mnoha kamerami uzavřeného televizního okruhu. Je tedy zřejmé, že bezpečnostních zařízení je v tunelu dostatek. Z hlediska kvality jsou navržena nejmodernějšími současnými technologiemi.
Součinnost většiny uváděných zařízení je vytvořena prostřednictvím předem definovaných algoritmů SW řídicího systému.
Technologická zařízení v tunelu pak budou chráněna proti korozním vlivům bludných proudů. V současné době platí předpoklad, že dostačujícím opatřením bude pasivní ochrana kovových částí spojených montážně se stavební konstrukcí tunelu.

Závěrem bych se chtěl zmínit o systému proměnného dopravního značení, které je v rámci této stavby dosud nejsložitějším systémem na území města. Doprava v rámci stavby VMO MÚK – Hlinky je vedena ve dvou úrovních vč. několika propojení těchto úrovní nájezdovými rampami. Proměnné dopravní značení, které je řešeno jak lamelovými, tak fázorovými značkami, je řešeno tak, aby umožňovalo odklony dopravy, uzávěry a řízení provozu a poskytovalo veškeré informace řidičům projíždějících tímto úsekem.
Řízení dopravního provozu tunelu má vytvořené přímé SW vazby na řízení navazujících světelných signalizačních zařízení křižovatek v jeho blízkosti. Zde pak je provoz aktuálně přizpůsobován dopravnímu provozu v tunelu.



Obr. 4 Schematická situace
Proměnné dopravní značení Vjezd do MÚK Hlinky od ulice Bauerovy
Fig. 4 Scheme of situation
Overview scheme of the variable traffic signalization at LCRR Hlinka's OLI

serves to other citizens as well.In coherence with the use of SOS telephone cabins, common fears of the drivers appear, and thus that in case of phone connection using these cases they will have to pay for action of the operation service. This presumption is absolutely wrong. In case of rightful connection from the aforementioned reasons, it is naturally a free service, which has a goal to help the affected traffic participants as well as to adopt administrative measures, which would lead to fastest possible resume of traffic in tunnels. A fire safety signaling is the next safety mechanism. It is formed especially by linear fire cable (i.e. speaker), pendent beneath the tunnel ceiling and signaling increased temperature or fire in partial sections along the entire tunnel length. This signalization is automatically tied to activity of the tunnel tv supervision. The same cooperation also works in case of activation, i.e. access to some of the SOS cabins. Technological areas of the distribution zone are protected from unauthorized access with a security system. The already mentioned system of direct phone line to desks of operation service personnel. The entire tunnel and its relatively complicated pre-chamber are equipped with many cameras of a corporate television circuit. It is therefore obvious there is a plenty of security devices within the tunnel. What quality concerns, they are designed using the most modern contemporary technologies.Cooperation of majority of the presented devices is formed through previously defined SW algorithms of the controlling system. Technological devices in the tunnel will be later protected from corrosion impacts of stray currents. Currently there is a presumption that a passive protection of metal elements, assembled to the tunnel construction, will be a sufficient measure.
In conclusion, I would like to mention the system of variable traffic signalization within this structure, which is the most complex system in Brno so far. Traffic within the LCRR Hlinka's OLI structure is conducted in two levels, including connection of these two levels through access ramps. Variable traffic signalization, which consists of both lamella and phasor signs, is solved so that it allows traffic diversions, interception and traffic control while giving the drivers passing through this section all information.
Control of tunnel traffic operation created direct SW connections to control of the consequent traffic light devices at crossroads in vicinity of the tunnel. Traffic here is then being currently adjusted to traffic operation in the tunnel.
In connection with the Pisárecký tunnel, the passage continuing with LCRR Hlinka's OLI will form the arrival into Brno and connection the LCRR align-

Ve spojení s Pisáreckým tunelem bude průjezd navazujícím VMO MÚK – Hlinky tvořit příjezd do Brna a napojení na trasu VMO. Ve směru jízdy k městské části Královo Pole pak řidiči přijedou k další tunelové stavbě.

TUNEL DOBROVSKÉHO

Největší z dosud připravovaných tunelů v Brně. Je tvořen dvěma jednosměrnými tunelovými troubami, které však mohou být využívány i pro obousměrný provoz. Dopravní uzly na předpolích jsou tvořeny několika poměrně rozsáhlými rampami s napojením na již vybudované radiální směry. Tunel Dobrovského je rovněž zpracován ve stupni projektové dokumentace pro stavební řízení a jeho realizace by měla pokračovat v návaznosti na stavbu VMO MÚK – Hlinky. Popisovat technologické vybavení této tunelové stavby by znamenalo z velké části opakovat fakta uváděná již u tunelu VMO MÚK – Hlinky. Koncepční řešení technologického vybavení stavby je shodné. Tunel je především opět vybaven veškerými bezpečnostními technologiemi. Jejich počet stejně tak jako ostatních technologií je však vzhledem k délce tunelu příslušně vyšší či adekvátně více dimenzovaný. Specifickým problémem bude vybudování nových vnějších komunikačních a datových spojů pro napojení na dispečink CTD a CŘD. V současné době jsou již v rámci jiných staveb pokládány úseky nových optických kabelů tak, aby do dokončení stavby tunelu byla trasa kompletní. Pro kvalitu televizního dohledu na dispečincích CTD a CŘD je to prakticky nezbytné. Právě plánovaný rozsah televizního dohledu tunelu Dobrovského a jeho předpolí vytvoří s největší pravděpodobností největší ucelenou soustavu televizního dohledu v rámci města Brna. Zajímavostí je, že vzduchotechnika tunelu je řešena příčným větráním s přívodem čerstvého vzduchu a odvodem výfukových zplodin mezistropem v celé délce tunelu. Před portály je systém příčného větrání doplněn podélnými ventilátory pro zamezení úniku zplodin portály mimo tunel. Centrální výfuk zplodin je pak veden komínem ve střední části tunelu do výšky zabezpečující jejich bezproblémový rozptyl. Řídicí systém dopravy v tunelu bude obsahovat přímou SW vazbu na zařízení světelného signalizačního zařízení, v tomto případě se jedná o světelnou signalizaci na rampě s ulicí Korejskou.

HUSOVICKÝ TUNEL

První řídicí a technologický systém tunelové stavby v Brně tuzemského dodavatele. Řídicí systém dodaný společností ELTODO dopravní systémy se stal základem pro koncepci dispečinků CTD a CŘD. To však tehdy ještě nikdo netušil. Celý tunel byl dokončen a zprovozněn koncem roku 1998 a tak byl také zahájen jeho lokální provoz včetně trvalé obsluhy na lokálním velínu Husovického tunelu. Za rok poté, s dokončením dispečinku CTD, již bylo všechno jinak.

DO BUDOUCNA S OPTIMISMEM

Dokončení stavby VMO v městě Brně se v jeho nejdůležitější části postupně blíží. Jistě, dokončení připravovaných staveb bude ještě záležitostí několika let, ale čas běží velmi rychle. Důležitá však je skutečnost, že mnoho zlomových otazníků, které se na cestě objevily, je dnes zodpovězeno. Myslím, že mohu konstatovat, že se to týká i koncepce technologického a dopravního řízení tunelových staveb na trase VMO v Brně. A to je jistě pozitivní.

NEJEN V BRNĚ

Silniční tunely se skutečně stávají běžnou součástí našeho života. Brněnská divize ELTODO dopravní systémy zúročuje nabyté zkušenosti při přípravě dalších plánovaných tunelových staveb na území Moravy. Především s kolegy tuneláři z firmy Amberg Engineering, s. r. o., Brno připravuje v různých stupních dokumentací návrhy technologických řešení dalších připravovaných tunelů. Jedná se především o asi 1080 m dlouhý tunel Klimkovice tvořený dvěma jednosměrnými troubami, který má konečně umožnit dálniční napojení metropole severní Moravy, města Ostravy. Dále to je tunel Jihlava délky asi 300 m řešící problematické napojení města v jedné ze svých částí. Také studie technologického vybavení tunelů Pozděchov délky asi 2000 m a Lačnov délky asi 760 m pod Vizovickými vrchy je velmi zajímavá, neboť se jedná o tunely v horském terénu.
Jako poslední byly v současné době zahájeny práce na návrhu možného řešení technologie přestřešeného zářezu v dálničním tělese u města Přerova. Konstruktéry je jako řešení předložena v Českých zemích zcela originální atypická stavba s přestřešením umístěným nad niveletou okolního terénu a navrženým z průsvitného velmi lehkého konstrukčního materiálu. V návaznosti na originální stavební konstrukci z toho vyplývají i různá možná řešení navazující technologie, která přinášejí celou řadu netradičních pohledů.

ZÁVĚREM

Celý článek jsem zahájil ohlédnutím zpět a nostalgickou vzpominkou na doby minulé. Na závěr mi nezbývá než se podívat pro změnu, alespoň v představách, takových deset dvacet let kupředu a popřát nám všem, abychom dopravní stavby a technická zařízení nutná pro jejich bezpečný provoz prosazovali a řešili tak, aby pomáhaly žít, současně však nezničily nenávratně krajinu budoucím generacím.

ment. In direction towards the city part Královo Pole, the drivers will then come to another tunnel construction.

DOBROVSKÉHO TUNNEL

The largest from the currently prepared tunnels in Brno. It is formed by two one-way tunnel tubes, which, however, can be used for two-way traffic as well. Traffic joints within the pre-portal sections are formed by several relatively extensive ramps with connection to already constructed radial directions. Dobrovského tunnel is also elaborated in the level of design documentation for engineering management and its realization should be going on following the LCRR Hlinka's OLI structure.To describe technological equipment of this tunnel structure would to a certain extent mean to repeat the data already mentioned by the LCRR Hlinka's OLI structure. Concept solution of technological equipment of the structure is the same. Before all, the tunnel is again equipped with all safety technologies. Their amount as well as amount of other technologies is, however, regarding the tunnel length accordingly higher or adequately more dimensioned.Construction of new outer communication and data links for connection to the TCC and CTC will be a specific problem. Currently, sections of new optical cables are being laid down within the frame of other constructions so that the path would be finished sooner than completion of the tunnel construction. As for quality of the tv supervision at TCC and CTC, it is basically essential. This very planned range of tv supervision of the Dobrovského tunnel and its pre-portal sections will most likely create the largest integrated set of tv supervision within area of the city of Brno.It is interesting that the tunnel ventilation system is solved by lateral ventilation with feeding of fresh air and drain of exhaust gases through ducts above a intermediate deck, running along the entire length. By the portals, the lateral ventilation system is complemented by axial fans, which are to prevent the exhaust gases from escaping outside the tunnel. The central exhaust output is then conducted through chimney in the middle tunnel section into height that guarantees their easy dissipation. The traffic control system will contain direct SW connection to the traffic lights, in this case it concerns the light signalization at ramp with the Korejská street.

HUSOVICKÝ TUNNEL

The first controlling and technological system for a tunnel structure in Brno by an inland supplier. The controlling system, supplied by the ELTODO dopravní systémy company became a ground stone for TCC and CTC concept. However, no one anticipated it by that time. The entire tunnel was completed and put into operation by the end of 1998 and thus also local operation, including the permanent service within the local control stands of the Husovický tunnel, was commenced. One year after, together with the TCC completion, everything changed.

TOWARDS FUTURE WITH OPTIMISM

In its most important part, the LCRR in Brno gradually approaches the construction completion. No doubt, completion of the prepared constructions will still be a matter of several years, but time goes fast. Important is the fact that many breakpoint questions which arose along the way are now answered. I think I can state that it also concerns the concept of technological and traffic management of tunnel structures within the LCRR route in Brno. And that is definitely positive.

NOT ONLY IN BRNO

*Road tunnels have really become common part of our live. ELTODO dopravní systémy, division Brno, prospers from experience gained by preparation of other planned tunnel constructions in Moravia. Especially with colleague tunnellers from the Amberg Engineering ltd. company, Brno prepares in various documentation levels proposals of technological solutions of other prepared tunnels.It concerns especially 1080 m long tunnel Klimkovice, formed by two one-way tubes, which should finally enable highway connection with the center of northern Moravia, the city of Ostrava.Furthermore, it is the app. 300 m long tunnel of Jihlava, solving problematic city connection in one of its parts.The studies of technological equipment of the app. 2000 m long tunnel Pozděchov and app. 760 m long Lačnov beneath the peaks of Vizovice are also very interesting, because they concern tunnels in mountainous terrain.
Currently at last, works on proposal for possible technology solution consisting in a canopy over the highway cut by the city of Přerov have been commenced. As a solution, an entirely original and for Czech lands atypical construction with a canopy placed above the level of adjacent terrain and designed from very light translucent construction material, has been submitted by the constructers. Following the original engineering structure, also various solutions of the consequent technology, which bring an entire row of unconventional views, derive from that.*

IN CONCLUSION

I started the article with a look back and a nostalgic reminiscence of the past era. So in conclusion there is nothing left for me , to the contrary, than to look some 10, 20 years ahead and to wish ourselves to implement and solve traffic structures as well as technical devices, essential for their safe operation, so that they would help to live while not irreversibly damaging the landscape for future generations.

SW PRO VYBAVENÍ ŘÍDICÍHO SYSTÉMU AUTOMOBILOVÝCH TUNELŮ

SW FOR EQUIPMENT OF ROAD TUNNELS' CONTROLLING SYSTEMS

ING. JIŘÍ SEDLÁK, ELTODO DOPRAVNÍ SYSTÉMY, s. r. o.

ÚVOD

Nervovou soustavou bezpečného automobilového tunelu je řídicí systém, který velí jak technologické části vybavení (osvětlení, větrání napájení apod.), tak dopravni části (proměnné dopravní značení, závory apod.). Tento řídicí systém současně přenáší provozní informace do centra řízení, automaticky je zpracovává a poskytuje prostřednictvím interfejsu obsluze. Tím se uzavírá zpětná vazba v celém řídicím procesu, jehož výsledkem je plynulý a bezpečný provoz v kritickém místě silniční komunikace, jakým automobilový tunel bezesporu je.

BEZPEČNOST SW

Jak jsem již zmínil v úvodu, základním atributem automobilového tunelu je bezpečnost. Ohlédněme se do nedávné minulosti provozu těchto staveb především pod Alpami a spatříme nemálo zmařených životů. Riziko, zejména v dlouhých horských tunelech, kde se protijedoucí automobily míjejí mnohdy ve vzdálenosti menší než jeden metr a vyhlídky na včasné opuštění tunelu jsou malé, je při dnešní neustále narůstající intenzitě dopravy příliš velké. Toto je třeba minimalizovat bezpečným řídicím systémem v područí bezpečného softwarového vybavení. Parametry bezpečnosti jsou dosahovány na hardwarové úrovni redundancí a budováním záložních pracovišť (centrální velín pro více tunelů, lokální velín plně vybavený pro záložní řízení). Na SW úrovni je to volbou stabilního operačního systému, stabilní robustní aplikační báze a samotné aplikace, bez hazardů a neošetřených stavů.

Operační systém a aplikační prostředí jsou celou řadou aplikací (nejen tunelových) dostatečně otestovány a problémy "vychytány". Jsou tedy i relativně bezproblémové. S konkrétní aplikací je to jinak, neboť každá aplikace je svým způsobem unikátní, neopakovatelná. Proto klade zvýšené nároky na odhalení všech chyb a nepřesností, které každý nový SW provázejí. Potřebné kvality je dosahováno postupnou modularitou s co největší opakovatelností SW bloků v protikladu s výjimečností každé aplikace, jak již bylo zmíněno výše. Tento postup je však velmi náročný, především co se týká zkušeností s návrhem tunelových systémů, neboť se přes jistou standardizaci nelze obejít bez aplikování nových poznatků s provozováním těchto dopravních staveb.

OVLADATELNOST SW

Nejdůležitějším článkem v celém řetězu dohledu a řízení v automobilovém tunelu je člověk – operátor. Na jeho rozhodnutí a včasné reakci závisí mnohdy životy lidí, kteří se ocitli v nebezpečné situaci někde uvnitř podzemí. K tomu, aby se operátor o situaci dozvěděl a mohl správně reagovat, potřebuje dokonalý interfejs, bez něhož by se v dané chvíli neobešel. SW nasazen na operátorské konzole takovýto interfejs představuje. Při jeho vývoji tvůrce musí vycházet z mnoha zkušeností s chováním systému i operátora. Je zde nutná dávka znalosti psychologie chování člověka jednak v klidu, kdy se relativně nic neděje, tak i ve stresu mimořádné situace, kdy je operátor vystaven mimořádné psychické zátěži. V takové situaci může mít nesprávně pochopené hlášení nebo zavádějící piktogram nedozírné následky. Vhodně zvolený (selektovaný) alarm spojený s akustickou signalizací musí obsluhu upozornit, ne však prohloubit její stres (jak tomu v mnoha případech je, když přerušované ječení sirény přijíždějícího parníku operátora spíše zmrazí, než aktivuje k žádané reakci).

V tomto okamžiku je namístě upozornit na větvení SW na ryze technologickou část, která je dána již při výstavbě systému jako takového a na dopravní část, která sice disponuje konečným a většinou stabilním počtem proměnného dopravního značení (dopravních značek), ale má velmi širokou působnost na poli dopravních stavů. Je tím míněno to, že je možno kombinací různých symbolů navolit nejrůznější dopravní stavy tunelu (jednosměrný provoz v tunelových troubách, obousměrný provoz tunelu v jedné

INTRODUCTION

A controlling system is a nerve center of a safe road tunnel, which commands the technological part of equipment (illumination, ventilation, power input etc) as well as traffic-related part (variable traffic signs, bars etc). This controlling system simultaneously transmits operational information into the control center, automatically processes it and through interface submits it to operators. Thus, a feedback is provided within the entire controlling system, whose result is a fluent and safe traffic at a critical point of road traffic, to which road tunnels no doubt belong.

SAFETY

As I already mentioned in the introduction, safety is an elemental attribute of any road tunnel. Let us look back to the recent past of operation of these structures, especially beneath the Alps, and we see not a little amount of lost lives. The risk, especially in long mountain tunnels, when vehicles often meet with a gap less than one meter between them, and the prospects of leaving of the tunnel soon are rather small, is even by current constantly increasing traffic intensity too high. This has to be minimized with a safe controlling system, using safe software. The parameters of safety are being reached on the hardware level by redundancy and development of standby workplaces (central headquarters for more tunnels, local ones fully equipped for standby control). On the SW level, the safety concerns selection of a stable operational system, stable robust application base and the applications themselves, without hazards and untreated statuses.

An operational system as well as its application environment are additionally tested with an entire row of applications (not only tunnel-related ones) and debugged. Thus, they are relatively without problems. This is different as for a particular application, because every application is unique in a way, inimitable. Therefore, it puts increased requirements on revelation of all errors and inaccuracies, which accompany every new SW. The required quality is reached through gradual modularity with as high level of recurrence of SW blocks as possible, in contrary to uniqueness of every application, as it was already stated above. However, this procedure is very demanding, especially what experience in design of tunnel systems concerns, because despite a certain standardization, it cannot be advanced without application of new knowledge of operation of these transport-related structures.

SW CONTROLLABILITY

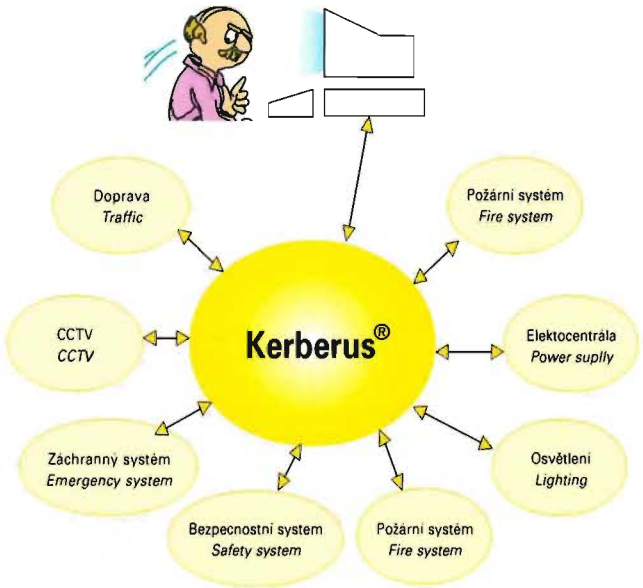
A human - the operator - is the most important link in the overall chain of supervision and control in a road tunnel. Often lives of people who found themselves in a dangerous situation somewhere underground depend on his decision and fast reaction. In order to learn about the situation to be able to react properly, the operator needs a perfect interface, without which he would not get through a given situation. SW installed on the operator's consoles represents such an interface. There has to be certain knowledge of psychology of human behavior, both in tranquility, when relatively nothing happens, as well as in the stress of extraordinary situation, when the operator faces exceptional psychic burden. Within such a situation, a misunderstood report or misguiding pictogram might have monumental consequences. Properly selected alarm connected with an acoustic signaling has to warn the service people, but it should not deepen their stress (as it often happens while an intermittent screaming siren rather freezes the operator than activates for required actions).

In this moment, it is at hand to emphasize the SW branching into a purely technological part, which is determined already in the time of development of the system as a whole, and into a traffic-related part, which, on the one hand, includes a finite and mostly stable amount of variable signs, but, on the other hand, has a very wide scope of action in the field of traffic status-

rouře, různá dopravní omezení, opatření a pod.). Dokonalý operátorský interfejs však nejen umožní nastavení požadovaného dopravního stavu, ale s pomocí SW aplikační nadstavby provede kontrolu správnosti z dopravního hlediska (odhalí kolizní stavy jednotlivých PDZ), popř. umožní dopravnímu inženýrovi požadovaný stav a dynamický přechod do něj nasimulovat a "odladit". Operátor dopravy (podle dnešní legislativy policista) tak dostane k dispozici uživatelsky předdefinované dopravní stavy včetně sekvenčních přechodů mezi nimi. Nelze v tomto pojetí slučovat funkci operátora a dopravního inženýra. Operátor je zde především pro to, aby reagoval na standardní i nestandardní situace předem daným postupem. Ve většině případů nemá na starosti pouze tunely, ale řeší i ostatní problémy spojené s funkcí policie. Dopravní inženýr musí chápat dopravní situaci v tunelu v kontextu s dopravní situací v přilehlém okolí a promyšleně připravit již zmíněné definice dopravních stavů a přechodů mezi nimi.

4. SW PRO ŘÍZENÍ TUNELOVÝCH TECHNOLOGIÍ KERBERUS®

Ve vývojové dílně společnosti Eltodo se tým SW odborníků ve spolupráci s uživateli léta zabýval vývojem nástroje určeným k řízení tunelu. Výsledkem je SW produkt Kerberus®, jenž v sobě zahrnuje všechny úrovně SW, jak v členění horizontálním (od výkonných podstanic až k operátorskému interfejsu), tak v členění vertikálním (technologii a dopravu). Tento SW v sobě zahrnuje, kromě vlastních řídicích algoritmů, také vazby na jednotlivé technologické celky (obr. 1).



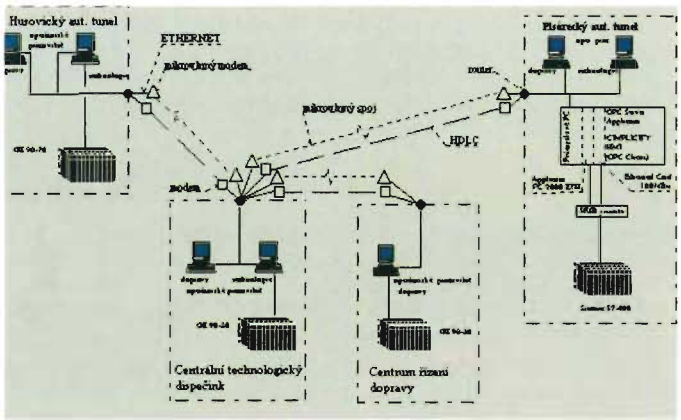
Obr. 1 Schematické znázornění vazeb systému na okolní subsystémy
Fig. 1 Scheme illustration of links of the system to adjacent subsystems

Jednotlivými technologickými celky se rozumí subsystémy, jako jsou dopravní systém, bezpečnostní systém (soustava hlásek SOS), televizní dohled - TVD, zabezpečovací systém proti neoprávněnému vniknutí do tunelových prostor s umístěnou technologií - EZS, elektronická požární signalizace - EPS, systém osvětlení tunelu, napájení tunelu elektrickou energií a ventilace. Jedině souhrou těchto subsystémů může řídicí systém efektivně působit a zajistit bezpečný a plynulý provoz celé dopravní stavby.
SW produkt Kerberus® je otevřený integrovaný systém, který lze díky své modulové koncepci aplikovat na různě složité tunelové technologie a dále po předání díla upravovat a rozšiřovat podle požadavků uživatele. Umožňuje taktéž následnou integraci a připojení dalších děl do systému na vybraná operátorská pracoviště. Příkladem takovéto aplikace integrovaného řízení více tunelů z jednoho centra je tunelový systém v Brně.
Topologie soustavy řízení tunelů v Brně z jednoho centra – Centrálního technologického dispečinku (CTD) a Centrálního řízení dopravy (CŘD) je na obr. 2. Jedná se o dva tunely – tunelu v Husovicích a tunelu v Pisárkách – řízené z jednoho centra umístěného v budově Brněnských komunikací, kde se řídí technologická část tunelů, a z druhého centra řízení dopravy v budově Policie České republiky. Na obrázku je patrné také zdvojení všech přenosových tras.
Z hlediska zálohování ovládacích pracovišť je systém budován tak, že každý tunel má za normální situace bezobslužný lokální velín, z něhož je možno v případě potřeby plnohodnotně tunel ovládat. Z pohledu síťového propojení tvoří každá lokalita samostatnou doménu. Komunikace mezi doménami

es. It is meant that it is possible through combinations of various symbols to select various tunnel statuses (one-way operation in tunnel tubes, two-way tunnel operation in one tube, various traffic limitations, measurements etc.). The perfect operating interface, however, allows not only to set the requested traffic status, but with help of SW of the application superstructure it will also perform a check of rightness in terms of the traffic (revealing collisions of the individual VTS), or it will allow the traffic engineer to simulate the dynamic transition into the required status in order to debug it. Traffic operator (a Policeman, according to current legislation) will thus have user-predefined traffic statuses available, including the sequential transitions among them. In this view, the positions of operator and traffic engineer cannot be merged. An operator is here especially to react to standard as well as exceptional situations using a beforehand given procedure. In most cases, he does not supervise tunnels only, but also solves other problems connected with the function of Police. Traffic engineer has to understand a traffic situation in the tunnel in context with the traffic situation in the vicinity and has to reasonably prepare already mentioned definitions of traffic statuses and transitions among them.

4. SW FOR CONTROL OF TUNNEL TECHNOLOGIES KERBERUS®

Within development workshop of the Eltodo company, a team of SW professionals in cooperation with the users has been for years dealing with development of a tool for tunnel control. The SW product Kerberus®, which includes all SW levels, both in horizontal (from executive sub-stations to the operating interface) and vertical (technology and transportation) segmentation, is the outcome. This SW also includes, beside own controlling algorithms, links on the individual technological units (Fig. 1).



Obr. 2 Topologie řídicího systému v Brně
Fig. 2 Topology of the controlling system in Brno

Subsystems such as traffic system, safety system (SOS phones), television supervision - TVS, security system against unauthorized intrusion into tunnel areas equipment is located - ESS, electronic fire alarm - EFA, system of tunnel illumination, power input and ventilation of the tunnel, are all understood individual technological units. Only under cooperation of all these subsystems is the controlling system able to operate effectively and to ensure safe and fluent operation of the entire transport-related structure.
SW product Kerberus® is an open integrated system, which can be thanks to its modular concept applied on variously complicated tunnel technologies and further after construction approval be adjusted according to user's requests. It also allows consequent integration and connection of other works into the system at selected operating workplaces. The tunnel system in Brno is an example of such application of integrated control of more tunnels from one center.
The topology of the system of central tunnels' control in Brno - the Central Technological Service (CTS) and Central Traffic Control (CTC) is shown in Fig. 2.
It controls two tunnels - a tunnel in Husovice and a tunnel in Pisárky, controlled from one center, located in the building of Roads of Brno, where the technological tunnel section is controlled from, while the traffic section is controlled from the second center located in the building of Police of the Czech Republic. Duplication of all transmission paths is apparent from the picture.
In terms of backing up the control workplaces, the system is constructed so that in normal situation every tunnel has a non-service local headquarters, from which in case of need it is possible to fully control the tunnel. From viewpoint of the network connection, every locality forms an individual domain. Communication among the domains was realized in order to secure

byla realizována k zabezpečení redundantního spojení jednak pevnými linkami pomocí modemů s protokolem HDLC, a jednak mikrovlnnými modemy s protokolem ETHERNET. S ohledem na kapacitu přenosu dat jsou komunikace a objem dat řízeny v každé doméně pomocí zařízení router, které reguluje objem a směr šířených dat. Přednostně je komunikace uskutečňována pomocí mikrovlnných spojů, které mají větší přenosovou rychlost (4 MB/s) a v případě výpadku komunikace po pevných linkách (0,7 MB/s). Obrazové informace videodohledu jsou přenášeny také mikrovlnnými spoji nebo po linkách. Nad koordinací řízení z různých míst dohlíží systém přístupových práv.

Brněnský systém je důkazem otevřenosti produktu Kerberus®, neboť se chystá v brzké budoucnosti připojení tunelu Hlinky a tunelu Dobrovského, což bude znamenat pouze doplnění nynější aplikace o další, pouze modifikované SW moduly. Toto je také jedním z požadavků uživatele, neboť nelze z ekonomických důvodů obsazovat nové tunely dalšími operátory, z čehož plyne, že možnost centrálního řízení je nezbytná.

Zajímavou stránkou produktu Kerberus® je bezesporu operátorský interfejs. Je to část, na které závisí schopnost operátora danou technologii plnohodnotně ovládat.

Pro ilustraci operátorského interfejsu SW produktu Kerberus® je na obrázku 3 vyobrazena jedna z mnoha obrazovek dopravy.

Jelikož je vizualizace budována na obecně známém prostředí Windows, je i forma ovládání vlastní aplikace budována ve stejném duchu (soustava oken, roletová menu apod.).

Významným prvkem je též systém alarmových hlášení (ve spodní části obrazovky), který třídí alarmy a veškeré události do deníků, archivů atd. Zvukový doprovod těchto hlášení je samozřejmostí.

Na obrázku 4 je jedna z obrazovek zachycující technologii tunelu Kohoutova. Všechny obrazovky jsou řazeny do struktury stromu s jasně definovanou hierarchií. Přehledová obrazovka poskytuje základní údaje o stavu technologie tunelu jako celku. V případě potřeby je možno pomocí detailních obrazovek dohlédnout až ke každému technologickému subsystém a jeho elementu.

5. ZÁVĚR

SW produkt Kerberus® nelze popsat na několika stránkách časopisu, šlo mi jen o nastínění problematiky a drobnou ukázku toho, co vše se skrývá za bezpečným a plynulým projetím tunelu.

Jelikož se technický pokrok dotýká i tohoto oboru, je jasné, že i zdokonalování řízení dopravních staveb půjde svou cestou. Chtěl bych však připomenout myšlenku, že i pro tunelové aplikace platí známé "v jednoduchosti je krása". Vhodně postavený SW řídicího systému s interfejsem, založeným na intuitivním a přehledném principu ovládání s jasnou symbolikou, zcela vítězí nad být všemocným, ale neprůhledným, bez obšírné dokumentace nepoužitelným produktem.

a redundant connection through both stationary lines using modems with the HDLC protocols as well as microwave modems with the ETHERNET protocol. With regards to the capacity of data transmission, the communications and data volumes are managed within each domain using a router, which regulates the volume as well as direction of the transmitted data. Higher priority is given to communication using the microwave connections, which have higher transmission speed (4 MB/sec), and, in case of a breakout, through stationary lines (0.7 MB/sec). Image information of the video-supervision is transmitted also through microwave connections or stationary lines. A system of access rights supervises over the coordination of control from various places.

The system in Brno is an evidence of compatibility of the Kerberus® product, because a connection of the Hlinka's tunnel and Dobrovsky's tunnel is planned in a short future, and that will mean only updating the current application with others, only modified SW modules. This is also one of the requests of the user, because from economic reasons it is not possible to occupy new tunnels with additional operators, therefore it is clear that the option of the central control is essential.

Operating interface is no doubt interesting portion of the Kerberus® product. It is a part on which the operator's ability to fully control the given technology depends.

As for illustration of the operating interface of the SW Kerberus® product, one of many traffic screens is depicted in fig. 3.

Because the visualization is constructed within the commonly known Windows environment, the method of control of the application itself is constructed in the same way (window set, cascade menus etc).

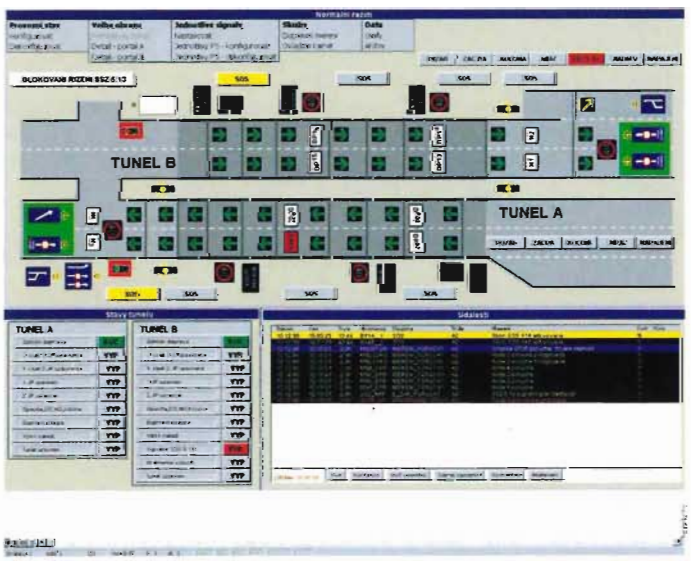
The system of alarm reports is also a significant element (in lower part of screen), which classifies alarms and all events into journals, archives etc. Accompaniment of these reports by sound is natural.

In the fig. 4, there is one of screens depicting technology of the Kohoutova tunnel. All screens are placed into a tree structure with clearly defined hierarchy. Overview screen submits basic data on condition of the tunnel equipment as a whole. In case of need, it is possible, using the detail screens, to see all the way to every technological subsystem and its elements.

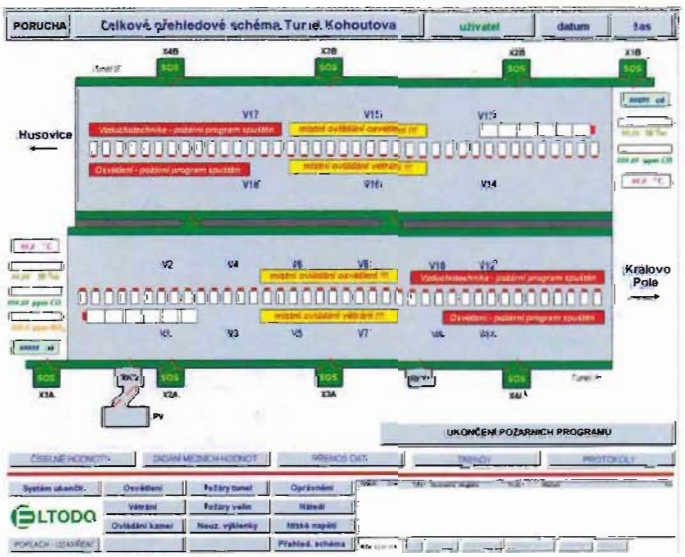
5. CONCLUSION

The SW product Kerberus® cannot be described on few magazine pages, my goal was to present the problems and to slightly show everything, what is hidden behind the term of a safe and fluent passage through a tunnel.

Because the technological progress touches this field as well, it is clear that also perfection of control of traffic structures will go its way. But I would like to stress the thought that even for the tunnel structures, the famous "there is a beauty in simplicity", applies. Suitably constructed SW of the controlling system with interface, based on intuitive and panoramic principle of control with straightforward symbols, ultimately beats however almighty, but non-transparent and without vast documentation inapplicable, product.



Obr. 3 Hlavní obrazovka dopravní části tunelu Kohoutova
Fig. 3 Main screen of the traffic-related section of the Kohoutova tunnel



Obr. 4 Přehledové schéma technologické části tunelu Kohoutova
Fig. 4 Overview scheme of technological section of the Kohoutova tunnel

ŘÍZENÍ ODEZVY HORNINY – MILNÍKY DO ROKU 1970

THE CONTROL OF GROUND RESPONSE – MILESTONES UP TO THE 1960s

PROF. K. KOVÁRI
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH, SWITZERLAND

VÝTAH

Prvním velkým krokem v řízení odezvy horniny jinými prostředky než výdřevou bylo vynalezení metody štítování na začátku 19. století. Ke kompletnímu rozvoji této dnes již tradiční metody tunelování, jmenovitě "metody stříkaného betonu (MSB)", došlo až v polovině padesátých let minulého století. Její vědecké kořeny sahají do 19. století, avšak horninové svorníky a stříkaný beton byly poprvé použity až po roce 1910. Tento článek jde po stopách fascinující historie událostí v oblasti užití svorníků a stříkaného betonu, a osvětluje jejich vztah k takzvané NRTM.

1. ÚVOD

Pod pojmem "odezva horniny" rozumíme způsob, kterým hornina reaguje na vytvoření otvoru, tj. provedení výrubu a zajištění horniny. Ústředním problémem tunelování vždy bylo jak ovlivnit "odezvu horniny" tak, aby při provádění byla zajištěna bezpečnost výrubu i jeho dlouhodobá funkčnost. Proces realizace tohoto cíle můžeme nazývat "řízením odezvy horniny". Zahrnuje jak plánovací, tak technická hlediska provádění, a vždy musí brát v úvahu ekonomii.

Od svého vzniku musí obor tunelování usilovat o pochopení procesů, ke kterým dochází v hornině v průběhu ražby výrubu, a předvídat očekávané chování horniny, jehož vysvětlení úzce souvisí s vlivy řady faktorů. Nejdůležitější je povaha horniny, metoda ražby (postup ražby v rámci příčného profilu a ve směru osy tunelu), stejně jako metoda, místo a rozsah použitých opatření k zajištění výrubu.

Za začátek tunelového inženýrství lze považovat 1,1 km dlouhý tunel Tronquoy pro kanál St. Quentin ve Francii, postavený v roce 1803. Tunel, na svou dobu neobvyklé šířky 8 m, procházel "písčitou, tj. tlačivou horninou" (Willmann 1920; Sandström 1963). Z obr. 1 je zřejmé, jak se pomocí řady individuálních malých štol budovala klenba kaloty směrem odspodu nahoru, což umožnilo odtěžení jádra následně, pod její ochranou. Tento tunel je považován za první tunel, který měl být založen na inženýrských zásadách. Je to proto, že zde byla poprvé realizována ražba velkého profilu v obtížných horninových poměrech. Současně se jedná o dobrý příklad praktické stránky "řízení odezvy horniny". Jedna trouba tunelu Straight Creek (Eisenhower) v Coloradu (USA) byla vybudována na stejném principu o 170 let později (Hopper a kol. 1972).

Historický vývoj "řízení odezvy horniny" lze sledovat odděleně od technologických a vědeckých hledisek, avšak současně se musí vždy brát v úvahu vzájemné působení a vzájemné oplodňování technických a vědeckých myšlenek. Inženýři, kteří pracovali na nových úkolech rozvoje technologií, nebo kteří tyto technologie pionýrsky uplatňovali v praxi, se vždy o vědecké otázky zajímali. Zpravidla to proto byla inženýrská praxe, co dávalo impuls k dosahování nového teoretického chápání.

Na začátku 19. století existoval jediný prostředek pro dočasné zajištění, výdřeva. Tunely se obvykle razily metodami několika čeleb. Výrub bylo často možno zajistit pouze s vynaložením velkého objemu lidské práce. V zeminách bylo dokonce potřebné pažení čela výrubu. Podíváme-li se po 150 letech na tunelářské metody, nalezneme namísto vydřevování buď metodu štítování s osazováním dílců ostění, metodu ocelového ostění nebo "ostění ze stříkaného betonu" (MSB). Technologie tunelování se tedy od roku 1800 do roku 1960 zásadně změnila. Jak k tomuto vývoji došlo? Zatímco historie vývoje metody štítování je dobře popsána v literatuře, milníkům vývoje metod individuálního zajištění, tj. použití ocelových podpěr, stříkaného betonu a horninových svorníků, všeobecně řečeno historie metody MSB, dosud nebyla věnována patřičná pozornost.

Co se týká metody štítování, omezujeme se zde pouze na základní fakta. Byla vynalezena M. I. Brunelem, který ji použil v roce 1825 v pravoúhlém tvaru pro podchod tunelu pod řekou Temže v Londýně. Štít válcového tvaru s ukládáním litinových segmentů má svůj původ v patentu P. W. Barlowa, který ho použil jako první v roce 1869 pro druhý tunel pod Temží (tunel Tower Hill) s tím, že tuto metodu pozoruhodně zdokonalil zástupce stavebního dozoru J. H. Greathead. Základní problémy otevřeného štítu tedy byly vyřešeny v Anglii několika význačnými inženýry během několika desítek let. Naopak tradiční metoda tunelování postupovala vpřed jen pomalu a ne trvale. Postupu se dosahovalo ve fázích a někdy izolovaně, s omezením na

ABSTRACT

The first major step in controlling ground response by means other than timbering was the invention of the shield technique at the beginning of the 19th century. The full development of the conventional method of tunnelling today, namely the "SCL method", did not appear until the mid-1950s. Its scientific roots go back to the 19th century, but rock bolts and shotcrete were first applied in the 1910s. The paper traces the fascinating story of the developments in rock bolting and shotcreting and sheds light on their relation to the so-called NATM.

1. INTRODUCTION

By the term "ground response" we understand the way in which the rock responds to the creation of an opening, i.e. the excavation and the ground support. It was always the central problem of tunnelling: how to influence the "ground response", so that during execution the safety of the opening is guaranteed as well as its long-term functionality. The realisation of this task we call "control of ground response". It includes both planning and technical aspects in the execution, and it must always take economic considerations into account.Since its beginning tunnel engineering has endeavoured to understand the processes taking place in the ground during the excavation of an opening and to predict the expected ground behaviour, clarification of which is closely related to the influence of a number of factors. The most important are the nature of the ground, the method of excavation (sequence of excavation in the cross-section and in the direction of the tunnel axis), as well as the method, the place and the extent of the support measures employed. The beginning of tunnel engineering can be seen in the 1.1 km long Tronquoy Tunnel of the channel of St. Quentin in France, built in 1803. The tunnel with, for that time, an unusually large width of 8 m passed though "sandy, i.e. squeezing rock" (Willmann 1920; Sandström 1963). From Fig. 1 it is clear how, with the aid of a number of individual small adits, the arch was constructed from the bottom to the top, allowing the core to be removed subsequently under its protection. Thus this tunnel is regarded as the first to be built on engineering principles, since here, for the first time, a large area of excavation in difficult ground conditions was realised. It is at the same time a good example of the practical side of the "control of ground response". One tube of the Straight Creek (Eisenhower) Tunnel in Colorado (USA) was constructed on the same principle 170 years later (Hopper et al. 1972). The historical development of the "control of ground response" can be traced separately from the technological and scientific standpoints; the interaction and the mutual fertilisation of technological and scientific ideas has, at the same time, always to be kept in view. Engineers, who have worked on new technological developments or who in their practical application have performed pioneering work, were also always interested in scientific questions. As a rule, therefore, it was engineering practice that gave the impetus to achieving new theoretical insights. At the beginning of the 19th century only timbering was available as a means of temporary support. Tunnels were usually driven using multiple heading methods, and the excavation often could only be stabilised at great expenditure in terms of labour - in soils even requiring the breasting of the face. If 150 years later we cast a look at tunnelling methods, we find instead of timbering either the shield method with the installation of lining segments, a steel lining or the "sprayed concrete lining" (SCL) method. Thus, the technology of tunnelling between 1800 and 1960 has basically changed. How did this development come about? Whereas the history of the development of the shield technique is well described in the literature, the milestones in the evolution of the individual support techniques, i.e. steel support, shotcrete and rock bolting; generally speaking, the history of the SCL method, has not yet been given proper attention. As to the shield technique, we confine ourselves here to the basic facts. It was invented by M.I. Brunel, who applied it in 1825 with a rectangular form for the under tunnelling of the Thames River in London. The shield of cylindrical form with the placement of cast iron segments, originates from a patent of P. W. Barlow, who applied it first in 1869 for the second Thames Tunnel (Tower Hill Tunnel), the method being notably improved by the supervising engineer J.H. Greathed. Therefore, the underlying problems of the open shield were solved by a few eminent engineers within a few decades in England. In contrast, the conventional tunnelling approach only progressed slowly and not steadily: Progress was made in stages and sometimes isolated, confined to a few countries. Only since the end of the 1940s can an acceleration in the development and a more intensive international exchange of scientific knowledge and experience be observed. Over a period of about 15 years this has finally lead to the method of tunnelling which today is called the "SCL method".

pouze několik zemí. Zrychlení vývoje a intenzivnější mezinárodní výměnu vědeckých poznatků a zkušeností lze pozorovat až od konce čtyřicátých let. Za dobu asi 15 let to konečně vedlo k metodě tunelování, která se dnes nazývá "metoda ostění ze stříkaného betonu".

Nejmocnější impulsy v její historii nejprve vzešly z výstavby železničních tratí, jejichž počátky sahají do třicátých a padesátých let 19. století. Slovo "tunel" jako takové vzniklo v Anglii, která byla průkopníkem ve výstavbě železnic. Pochází ze starého francouzského slova "tonnel", které znamenalo "tunový oblouk", "barel" (v moderní francouzštině označený jako "tonnelle"). V Alpách, kde spolu hraničí Rakousko, Francie, Německo, Itálie a Švýcarsko, vznikla potřeba delších, hlubších železničních tunelů již v polovině 19. století. Člověka napadají jako příklad skvělé alpské tunely Mt. Cenis v Itálii, St. Gotthard a Simplon ve Švýcarsku a Arlberg v Rakousku.

V prvních desetiletích 20. století započala éra vodní energie s novými vodními elektrárnami, které kromě tlakových tunelů vyžadovaly i nové typy podzemních staveb, jako elektrárny a šikmé šachty. Až na přerušení z důvodů válek tato činnost pokračovala až do devadesátých let 20. století, avšak od konce čtyřicátých let zažila velký rozmach nejen v alpských oblastech, ale i po celém světě, obzvláště ve skandinávských státech, USA a Austrálii. Budování vodních staveb rozkvétalo v padesátých a šedesátých letech, v období, kdy započaly intenzivní práce na výstavbě dálnic.

Konečně od 19. století existoval trvalý růst důlní těžby, kde docházelo k dalšímu vývoji. Ten byl důležitý i pro tunelové stavby. Dva nejdůležitější styčné body mezi dolováním a stavbou tunelů se týkají výzkumu jevu horninového tlaku a vývoje hospodárných metod zajišťování horniny. Rozdílné potřeby již byly na počátku tunelového inženýrství společné. Jmenovitě to byla potřeba razit větší průřezy výrubu, nejprve pro tunely vodních kanálů a o trochu později pro železniční tunely, stejně jako potřeba zvláštního řešení trvalého ostění tunelů.

V následujících historických úvahách chceme proniknout co možná nejhlouběji ke kořenům tohoto vývoje, a vyzdvihnout pionýrské úspěchy v oblasti vědy i praxe. Rozsáhlým použitím citátů umožníme promlouvat tehdejším lidem, abyste si tak lépe uvědomili cestu, po které věda a technika postupovala.

2. VĚDECKÝ ROZVOJ

Přesné posouzení chování horniny při ražbě a budování ostění, stejně jako její chování po dobu životnosti tunelů, mělo praktický význam již při výstavbě prvních železničních tunelů. Ti, kdo se jím zabývali, počítali s porušením horniny, zborcením výdřevy nebo nadvýlomem v důsledku špatného odhadu chování horniny nebo geologických "překvapení". Stavitelé tedy byli první, kdo musel zvažovat otázku stability výrubu, potřebu dřevěné výstroje a zatížení, které měla nést. Při studiu tehdejších příruček a článků z inženýrských časopisů si člověk všimne, že se pro nalezení odpovědi na tyto otázky od samého začátku obraceli na metody přírodních věd. Bylo jasné, že bylo nutné zkoumat příčiny pozorovaných efektů. Na počátku však bylo nutno spokojit se s kvalitativními vysvětleními. M. J. Brunnel již při navrhování svého pravoúhlého štítu dostával podněty z určitých teoretických úvah: Za základní bod svého objevu považuje svůj patent (1818), "nikdy neodtěžovat více zeminy, než může být okamžitě nahrazeno tunelem, tak, aby si okolní zemina zachovala svou přirozenou pevnost a hutnost" (Schlick 1827).

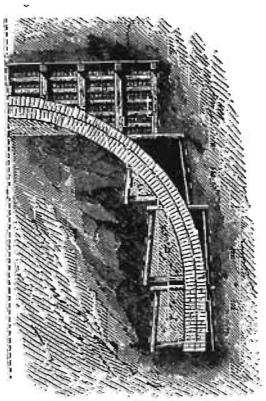
Rozhodující období pro vytvoření různých koncepcí a technických termínů bylo přibližně mezi roky 1830 – 1860. Z tohoto důvodu se také používaly výrazy z oblasti inženýrské vědy (včetně geotechnického inženýrství) a dolování z této doby.

Jedním z hlavních stupňů pokroku, kterých je zapotřebí s všimnout, je fakt, že do poloviny 19. století byly jasně definovány důležité formy "odezvy horniny". Jasně tedy rozlišovali mezi "uvolňováním" horninového tlaku v klenbě,

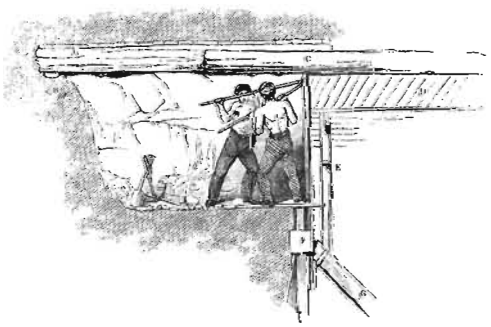
In the course of its history the biggest impulses in tunnelling were first given by the construction of the railways, whose beginnings go back to the 1830s and 1850s. The word "tunnel" itself was coined in England, the pioneer in railway construction: It originates from the old French "tonnel" for "tonne arch", "barrel" (designated "tonnelle" in modern French). In the Alps, with the bordering countries Austria, France, Germany, Italy and Switzerland, already in the middle of the 19th century the need arose for longer, deeper railway tunnels. One thinks for example of the great alpine tunnels Mt. Cenis in Italy, St. Gotthard and Simplon in Switzerland and Arlberg in Austria. In the first decades of the 20th century the era of water power began, with new hydroelectric power stations, which beside pressure tunnels also demanded new types of underground structures like power houses and inclined shafts. Except for disruptions due to the wars, this activity stretched up to the 1990s, but from the end of the 1940s it experienced a big upturn not only in the alpine regions, but world-wide, especially in the Scandinavian countries, the USA and Australia. The construction of hydraulic structures flourished in the 1950s and 1960s, a period in which intensive activities in the construction of the motorways began. Finally, since the 19th century there was also constant growth in production mining so that this triggered new developments, which were also decisive for tunnel engineering. The two most important points of contact between mining and tunnelling concern research on the rock pressure phenomenon and the development of economic methods of rock support. Different needs were already common at the start of tunnel engineering, namely the necessity of having bigger excavation profiles first for canal tunnels and a little later for railway tunnels, as well as for the special design of the permanent tunnel lining. In the following historical considerations, as far as possible we want to delve down to the deepest roots of the development and to highlight pioneer achievements both in scientific and practical terms. By extensive quotation we let the persons of the time speak to better realize the road along which science and technology proceeded.

2. THE SCIENTIFIC DEVELOPMENT

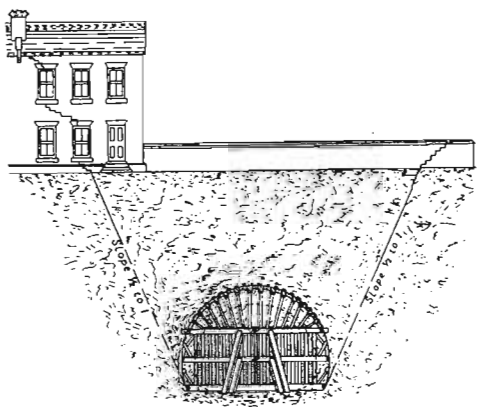
An accurate assessment of ground behaviour during excavation and the construction of the lining as well as during the service life of tunnels was already of practical importance in the construction of the first railway tunnels. Those involved took into consideration ground failure, collapse of the timber work or over-break because of poor estimates of ground behaviour or geological "surprises". The site engineers were therefore the first to consider the question of the stability of the underground opening and with the need for timber supports and the loading they were to carry. When studying handbooks of that period and articles in the engineering journals, one notices that to answer this question, they turned from the very beginning to the methods of the natural sciences. It was clear that one had to research the causes of observed effects. At first, however, one had to be content with qualitative explanations. Already M.J. Brunel, in the development of his rectangular-shaped shield, was prompted by certain theoretical considerations: The essential point of his discovery he sees in his patent(1818), h"never to remove more earth than can be immediately replaced by the tunnel, so that the surrounding earth is always kept in the state of its natural strength and density" (Schlick 1827). The period between about 1830 - 1860 was decisive for the development of differentiated concepts and technical terms. For this purpose they also used the then current expressions from the fields of engineering science (including geotechnical engineering) and mining. One major step to be noted is that up to the middle of the 19th century the most important forms of "ground response" were clearly defined. Thus they differentiated clearly between "loosening" rock pressure in the roof, "swelling" and "squeezing". In the construction of near-surface tunnels one was familiar very early with the phenomenon of surface settlements (Fig. 3). Accurate hypotheses regarding the mechanisms underlying these phenomena, were also postulated. It was only the problem of genuine rock pressure which had to wait until 1910 for a solution. Possibly the first publication on observations of rock behaviour in tunnelling and on considerations of its possible causes stems from the Englishman, F. W. Simms. In his book from the year



Obr. 1 Tunel Tronquoy na kanálu St. Quentina ve Francii, 1803 (Sandström 1963)
Fig. 1 Tronquoy Tunnel of the channel of St. Quentin in France, 1803 (Sandström 1963)



Obr. 2 Zatahování stropnic při ražbě kaloty tunelu Blechinglay (Simms 1844)
Fig. 2 Drawing the crown bars in the top heading of the Blechinglay Tunnel (Simms 1844)



Obr. 3 Vysvětlení škod způsobených ražením mělce založeného tunelu Widening pro metropolitní železnici, Londýn 1865–1867 (West 1988)
Fig. 3 Explanation of the damage caused by tunnelling near surface in the Widening Tunnel, Metropolitan Railway, London 1865–1867 (West 1988)

"bobtnáním" a "tlačením". Ve výstavbě mělce uložených tunelů byli důvěrně obeznámeni s jevem sedání povrchu (obr. 3). Byly postulovány i přesné hypotézy, týkající se mechanizmů, které jsou základem tohoto jevu. Pouze problém čistého tlaku horniny musel čekat na řešení až do roku 1910.

Snad první publikace o pozorováních chování horniny při tunelování a o úvahách o jeho možných příčinách pochází od Angličana F. W. Simmse. Ten ve své knize z roku 1844 (první učebnice tunelování) informuje mimo jiné o svých zkušenostech z ražby 1,2 km dlouhého tunelu na železniční trati do Blechinglay, stavbě, která byla zahájena v srpnu 1840. Zastižené horninové poměry popisuje velmi přesně následujícím způsobem:

"Wealdské modré jíly, ve kterých jsem pracoval, byly zpočátku velmi mastné na dotyk, a když vyschly na stavbě, tvořily tvrdou břidlici, vyžadující rozsáhlé použití střelného prachu při ražbě, avšak po vystavení vlhkosti a atmosférickým vlivům silně bobtnaly a poté se rozpadaly. Z toho důvodu jsem musel uzavřít - vzepřít kulatinou čelbu ve všech směrech až dolů ke spodnímu prahu, a často až ke dnu. Rozpínání nebo bobtnání bylo občas tak velké, že hrozilo prolomení takových úseků poté, co byly úplně vydřeveny, což by se pravděpodobně stalo nebýt trvalé pozornosti a silné výdřevy, která byla správně postavena. Tlak na dílo byl někdy tak velký, že zdravé dubové klády o průměru čtrnáct nebo patnáct palců praskaly a lámaly se jako sirky. Tlak, proti kterému jsme museli bojovat, se měnil, a jeho největší výše byla nejistá. (...) Největší tlak (který většinou působil na klenbu) byl u konců Tunelu, kde byl povrch terénu o hodně blíže ke klenbě."

Simms čelí vlivu vody na jílovcovou horninu, který způsobuje rozpadání (hašení), bobtnání a vývin horninového tlaku. Mírou tlaku (který je považován za proměnlivý a nejistý) je porušení výdřevy. Zdůrazňuje se důležitost trvalé pozornosti k chování tunelu. Jeho vysvětlení vyššího tlaku u nižšího nadloží je pozoruhodné:

"Vyšší tlak na dílo při mělkém nadloží než tlak tam, kde je tunel velmi hluboko pod povrchem, mohu vysvětlit pouze na základě domněnky, že v prvém případě působí celý masiv ležící nahoře kolmo dolů, zatímco ve druhém případě se do pohybu dostává pouze jeho malá část a horní část působí jako zámek (pokud se tak mohu vyjádřit), čímž se masiv podepírá sám. Tato činnost byla jasně zřetelná v jámě č. 11, kde dílo dole bylo možno zřetelně sledovat na povrchu terénu, který s postupem našich prací sedal ve formě pánve a současně praskal a tvořily se velké pukliny."

Zde je poprvé vyjádřena hypotéza, že horninový tlak se spouští pohybem horniny nad stropem. Kde zůstává masiv v klidu, "masiv podpírá sám sebe". Tato druhá formulace odhaluje stupeň jeho proniknutí do podstaty věci, že hornina má charakter konstrukce. V tomto směru Simms jasně konstatuje, že:

"Je to obecný pohyb hmoty, která se přizpůsobuje tak, aby dosáhla rovnováhy po jejím narušení způsobeném výrubem, co způsobuje zatížení vahou, jejíž zkoumající vliv nalézá slabé body na díle."

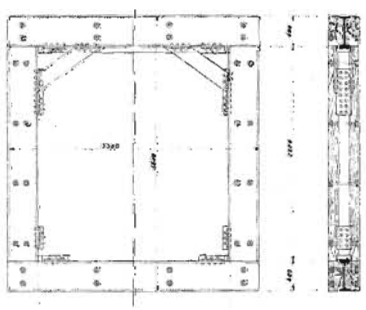
Tak dostalo dnešní pojetí, založené na mechanice, velmi brzy vyjádření, podle kterého má provedení výrubu za následek narušení rovnováhy. Jako stavbyvedoucí vymyslel vhodné praktické pravidlo, které poukazuje na úzkou souvislost mezi ostěním a horninou:

"Zde se opět musí praktickému člověku vštěpovat myšlenka nezbytnosti vždy udržovat dílo dotažené těsně k hornině, aby se tak zabránilo možnosti jejího pohybu. Mělo by být neměnným pravidlem nikdy neponechávat prázdný prostor za dílem."

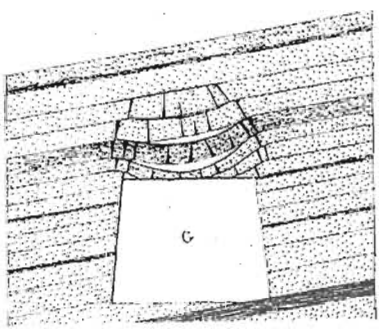
Na jiném místě říká:

"Jedinou nezbytnou věcí, která se musí hlídat, je první posunutí vrstev. Dá se mu všeobecně bránit velmi slabou výdřevou, je-li uvážlivě umístěna. Nehlídá-li se to a neprovede-li se to včas, přivolá se často tak velké sesutí horniny, že vznikne velká kaverna za dílem, která musí být pevně vyplněna, aby se dílo zabezpečilo proti budoucímu nebezpečí." (...) "nebezpečí, plynoucí z ponechání prázdného prostoru nad klenbou je tak zřejmé, že nepotřebuje žádný komentář."

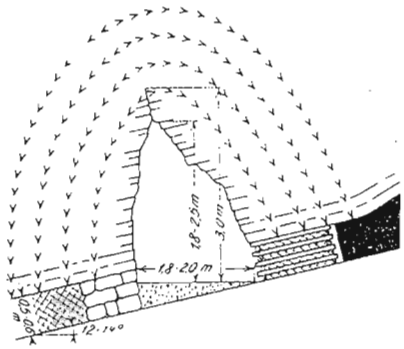
1844 (the very first textbook on tunnelling) he reports, among other things, on his experiences in excavating the 1.2 km long Blechinglay railway tunnel, the construction of which was begun in August 1840. The ground conditions encountered he describes very precisely as follows: "The Blue Clay of the Weald in which I was working was at first greasy to the touch; and when dry, and in situ, formed a hard shale, requiring an extensive use of gunpowder in its excavation, but upon exposure to damp and atmospheric action, it swelled considerably and then slaked: this obliged me to close-pole the face of the work in all directions as far down as the lower sill, and frequently to the bottom. The expansion; or swelling, was occasionally so great as to threaten the hurling in of the lengths after they were completely timbered, and would probably have done so but for constant watchfulness, and strong timbers properly applied. The pressure upon the work was sometimes so great that sound oak bars, fourteen or fifteen inches in diameter, were cracked and broken as if they had been mere sticks. The pressure we had to contend with was variable, and uncertain in the highest degree. (...) The greatest pressure (which mostly acted upon the crown) took place towards the ends of the Tunnel, where the surface was so much nearer to the arch." Simms is confronted with the influence of water on claystone rock: slaking, swelling and the development of rock pressure. A measure for the pressure (which he recognised to be variable and uncertain) is the failure of the timbering. The importance of a constant watchfulness as to the behaviour of the tunnel in emphasized. His explanation of the higher pressure at smaller overburden depths is remarkable: "The greater pressure upon the work in shallow ground over that where the tunnel is very deep below the surface, I can explain only upon the supposition that, in the former case, the whole superincumbent mass is acting perpendicularly downwards; whilst, in the latter case, a small portion only gets into motion, the upper part acting as a key, (if I may so express myself) by which the mass supports itself. This action was clearly shown in pit No. 11, where the working below could be distinctly traced upon the surface of the ground, by its sinking in the form of a basin as our work proceeded, and at the same time cracking into large fissures." Here, for the first time, the hypothesis is expressed, that the rock pressure is triggered by a movement of the rock above the roof. Where the masses remain at rest, "the mass supports itself". This latter formulation, reveals his insight, that ground has the character of a structure. In this respect Simms clearly states that: "It is the general movement of the mass in adjusting itself to equilibrium, after the disturbance occasioned by the excavation, that causes the weight, and whose searching influence finds out the weak points in the work." Thus, very early, today's mechanics-based idea was given expression, according to which the excavation results in a disturbance of the equilibrium. As site engineer he devised an appropriate practical rule, which points to the tight connection between the lining and the rock: "It must here be again impressed upon the practical man, the necessity of always keeping the work tight against the earth, to prevent the possibility of its moving; and it should be an invariable rule, never to leave a vacuity behind the work." In another place he says: "The only thing necessary to guard against is the first displacement of the strata; which can generally be prevented with very slight timbering, judiciously placed; if this is not watched, and done in time, a slip of the rock will frequently bring in so much as to leave a great cavern, which must be filled solid behind the work to make it secure from future danger." (...) "the danger of leaving an empty space above the Arch is too obvious to need any remarks." Finally, we would like to point out a fundamental aspect of tunnelling, which was already mentioned in this pioneering work: "The extensive use of timber is to be avoided as much as possible ..." Furthermore, we see that in the call for tenders for the Islington Tunnels in 1812 (addressed to Architects and Engineers) there is the following statement: the owner was "anxious to have the best information which science and practice can afford on the subject." Thus, tunnel engineering from its very beginnings lays claim to being a scientific discipline. We have quoted from Simms so extensively because, with his explanations, the beginning of our scientific knowledge in tunnelling is marked. His conscientiousness in his observations and his attempts at explaining the phenomena will always remain exemplary.



Obr. 4 Rámová výztuž klasického typu
Fig. 4 Classical frame support



Obr. 5a Mechanismus porušení klenby ve vrstevnaté hornině (Fayol 1885)
Fig. 5a Failure mechanism in the roof of layered rock (Fayol 1885)



Obr. 5b Znázornění přirozené horninové klenby nad místem nadvýlomu (Lüthgen 1929)
Fig. 5b Visualization of a natural ground arch above an overbreak (Lüthgen 1929)

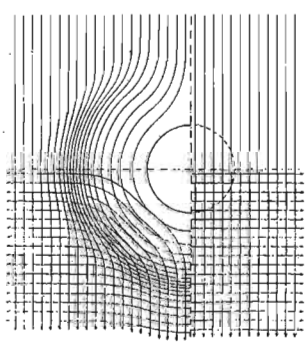
Konečně bychom chtěli poukázat na základní aspekt tunelování, který již byl v této průkopnické práci zmíněn:
"Je třeba co nejvíce se vyhýbat nadměrnému používání dřeva ..."
Dále vidíme, že v textu vyhlášení obchodní soutěže na stavbu tunelů Islington v roce 1812 (adresovaném architektům a inženýrům) je toto prohlášení: investor si přál " mít ty nejlepší informace, které může věda a praxe v této věci poskytnout." Tunelové inženýrství tedy od svého vzniku tvrdí, že je vědeckou disciplinou.
Citovali jsme Simmse takto rozsáhle proto, že jeho výklady znamenají začátek našeho vědeckého poznání o tunelování. Jeho pečlivost při pozorováních a jeho pokusy vysvětlovat tento jev zůstanou navždy naším vzorem.

VÝPOČTOVÉ MODELY

K prvním pokusům vypočítat zatížení, působící na výdřevu a trvalé ostění, došlo již ve druhé polovině 19. století. Všechny výpočtové modely měly jednu věc společnou, a to že berou v úvahu pouze proces v bezprostřední blízkosti výrubu a byly založeny buď na předpokládaném mechanizmu porušení, nebo na účinnosti mechanizmu jednoduchého strukturálního vyztužení v hornině (obr. 4). Byly zpracovány i zjednodušující předpoklady s ohledem na materiál. Pro nesoudržné zeminy navrhl Culmann (1866) metodu, založenou na dobře známé teorii zemního tlaku. Ritter (1879) tento model upravil tím, že předpokládal vytvoření stabilní, přirozené klenby nad tunelem, a za svislé zatížení považoval hmotnost materiálu pod ní. Vodorovný tlak určil podobně jako Culmann s použitím teorie zemního tlaku. Ritterova teorie si našla cestu do klasické tunelářské literatury. Například Drinker (1888) říká: "Vytvoříme-li výrub v nedefinované a homogenní hornině, jejímž částicím brání v klouzání jedné po druhé odpor vyvolaný úbytkem soudržnosti, je, teoreticky vzato, vždy možné nalézt pro vrchol takového výrubu křivku rovnováhy, která bude křivkou přirozené kaverny." Prvním, kdo se pokusil vysvětlit nosný efekt nesoudržné horniny vytvořením "horninové klenby" nad výrubem byl Engesser (1882). Podle něj bylo zatížení dáno vahou hmoty, obsažené mezi horninovou klenbou a ostěním. Janssen (1895) předložil myšlenku efektu sila s nesoudržným materiálem nad stropem. Fayol (1885) zkoumal vrstevnaté horniny a pokusil se o vysvětlení procesů v hornině strukturálním účinkem svazku trámů. První ilustrace mechanizmů v hornině jsou zobrazeny na obr. 5. Všechny tyto modely obsahují klíčové myšlenky, které byly použitelné za určitých horninových podmínek a byly tedy také užitečné. Tyto modely také společně předpokládají, že dochází k deformacím horniny (posuny ve směru výrubu). S výjimkou teorie sila vedou modely k závěru, že horninový tlak stoupá se zvyšujícím se sedáním stropu. Poskytly tedy teoretické zdůvodnění dřívějších Simmsových tvrzení a domněnek. Na základě těchto základních myšlenek byla později vyvinuta řada variant (Komerell 1912, Bierbaumer 1913), kterými se zde již nebudeme zaobírat.
Již tehdy bylo jasné, že tyto výpočtové metody si navzájem odporovaly a odporovaly i pozorováním. Jinými slovy, obsahovaly závažné nedostatky. Otázky, týkající se vlivu hloubky tunelu na horninový tlak, vzniku tlaku na protiklenbu a jevu stlačování zůstaly nezodpovězeny. Jedním z důvodů, kterým mohlo být vysvětleno, alespoň kvalitativně v počáteční fázi, zdvihání dna tunelů a tlak na protiklenbu, bylo bobtnání jílu a anhydritu působením vody. Nebylo však možno nalézt vysvětlení pro jev stlačování. V dalším bych chtěl pojednat o vývoji chápání jednoho z teoreticky nejsložitějších problémů tunelování.
První teoretická díla, vysvětlující jev tlačivosti hornin, mají úzkou souvislost se stavbou přibližně 20 km dlouhého Simplonského tunelu, který má maximální výšku nadloží 2100 m. Simplonský tunel I byl stavěn v období od roku 1898 do roku 1906, Simplonský tunel II mezi roky 1912 a 1921. Dlouhá doba výstavby druhého tunelu byla způsobena válečnými událostmi. Alpský geolog Heim varoval ve svém článku (1878), tehdy velmi oslavovaném kolegy odborníky, že se podle jeho názoru při tunelování ve velké hloubce narazí na nepřekonatelné obtíže. Tvrdil, že "u každé horniny je zapotřebí předvídat sloupec tak vysoký, že jeho váha přesáhne pevnost horniny, a proto pata takového sloupce se rozdrtí. Tento sloupec bude vyšší nebo nižší, v závislosti na pevnosti horniny, ale předvídané okolnosti se vyskytnou vždy." Pod pojmem "pevnost" rozuměl Heim jednoosou pevnost horniny. Věřil, že po dosažení této pevnosti budou převládat "hydrostatické podmínky", a vytvořil pojem "latentní plasticita". Dále předpokládal, že "vnitřní tření se působením všesměrného tlaku sníží tak, že dojde k přerozdělení napětí bez štípání a hornina začne téct stejně, jako teče led v ledovci. Materiál by se mohl snažit vtékat do výrubu tunelu." Z toho vyvodil závěr, že za jistou hranicí kritické hloubky, v závislosti na typu horniny, se stane nemožným technicky řídit výstavbu tunelového díla. Byl to Wiesmann (1912), jeden z hlavních inženýrů stavebního dozoru na stavbě Simplonského tunelu, kdo objevil chybu v Heimově argumentaci. Zaprvé, co se týká chování horniny v okolí tunelu, se nejedná o jednoosou, nýbrž o trojosou pevnost v tlaku, která se musí použít: "Únosnost uzavřených těles, to je ta hlavní pevnost horniny." Mohl již použít výsledky von Kármánových (1911) trojosých testů z roku 1905, provedených na mramoru. Za druhé, chování horniny v plastickém stavu nelze srovnávat s chováním kapaliny. Při viskózní (Newtonově) kapalině je pouze otázkou času, než se vyvine stav hydrostatického tlaku. V důsledku vnitřního (Coulombova) tření se však hornina chová zcela odliš-

COMPUTATIONAL MODELS

As early as in the second half of the 19th century the first attempts were undertaken to calculate the loading on the timber work and the permanent lining. All computational models had one thing in common, namely that they only consider the processes in the immediate vicinity of the opening and were either based on assumed failure mechanisms or on the effectiveness of simple structural support mechanisms in the ground (Fig. 4). Simplifying assumptions were also made with regard to the material. For cohesionless ground Culmann (1866) proposed a method based on the well-known earth pressure theory. Ritter (1879) modified this model, by postulating the formation of a stable, natural dome over the tunnel and considered the weight of the mass of material underneath as a vertical loading. He determined the horizontal pressure in a similar way to Culmann, using earth pressure theory. Ritter's theory found its way into standard books on tunnelling. For example Drinker (1888) says: "When we make an opening in an undefined and homogeneous mass, the particles of which are kept from sliding over each other by the resistance offered by cohesion attrition, in the abstract it is always possible to find for the top of such an opening a curve of equilibrium which would be the curve of a natural cavern". Engesser (1882) was the first who tried to explain the support effect in cohesionless ground by the formation of a "ground arch" above the opening. For him the loading was given by the weight of the mass enclosed between the ground arch and the lining. Janssen (1895) proposed a silo effect of the cohesionless materials above the roof. Fayol (1885) investigated a layered rock and tried to explain the processes in the rock by the structural action of a stack of beams. Early illustrations for mechanisms in the ground are shown in Fig. 5. All these models contain key ideas, which were applicable under certain conditions and therefore were also useful. These models also assume, in common, that rock deformation occurs (displacements in the direction of the opening). With the exception of the silo theory, the models lead to the conclusion that with increasing roof settlement the rock pressure increases. Thus they provided a theoretical justification of the earlier statements and suppositions of Simms. Building upon these basic ideas, numerous variants were developed later (Komerell 1912, Bierbaumer 1913), which will not be dealt with further here.
It was already clear at that time that those computational methods were in contradiction with each other and also with observations. In other words: they contained severe shortcomings. Questions concerning the influence of the depth of the tunnel on the rock pressure, the development of pressure on the invert arch and the phenomena of squeezing remained unanswered. One of the reasons for the bottom heave in tunnels and the pressure on the invert could at least qualitatively be explained at an early stage by the swelling in clay and anhydrite due to water. However, no explanation could be found for the squeezing phenomena. In the following, we would like to discuss the development of the understanding of one of the theoretically most complex problems in tunnelling.The first theoretical works to explain the phenomenon of squeezing rock are closely related to the construction of the approximately 20 km long Simplon Tunnel, which has a maximum depth of overburden of 2100 m. The Simplon Tunnel I was constructed in the period from 1898 until 1906, and Simplon Tunnel II between 1912 and 1921. The long construction time for the second tunnel was due to the events of war. The alpine geologist Heim warned in an article (1878) that was much acclaimed by professional colleagues at the time, that in his opinion insuperable difficulties would be encountered when tunnelling at great depth. He maintained that "for each rock one needed to envisage a column so high that its weight would exceed the strength of the rock, and therefore the foot of the column would be crushed. Depending on the strength of the rock this column would be higher or lower, but the envisaged conditions would always occur." Under "strength" Heim understood the uniaxial strength of the rock. He believed that upon reaching this strength, "hydrostatic conditions" would dominate, and he coined the term "latent plasticity". Further, he assumed that "the internal friction would be so reduced under the all round pressure that a stress redistribution would occur without cleavage and the rock begin to flow, just like ice flows in a glacier. The material would try to flow into the tunnel opening". From this he concluded that beyond a certain critical depth, depending on the type of rock, the tunnel construction work would become impossible to control technically. It was Wiesmann (1912), one of the chief supervising engineers on the construction of the Simplon Tunnel, who discovered the error in Heim's reasoning. Firstly, for the behaviour of the rock surrounding the tunnel, it is not the uniaxial but the triaxial compressive strength that applies: "The bearing capacity of enclosed bodies, this is the govern-



Obr. 6a Znázornění stavu napětí před a po výrubu tunelu s velkým nadložím
Fig. 6a Visualisation of the state of stress prior and after the excavation of a deep tunnel (Wiesmann 1912)

ně: Když odezní proces dotvarování a uvolnění, zůstává v důsledku soudržnosti a vnitřního tření deviační složka napjatosti, která umožňuje rozdíl v hlavních tlacích - u asymetrických stavů mezi radiálním a tangenciálním napětím - v hornině v okolí tunelu. Wiesmann jako jeden z prvních rozpoznal důležitost přerozdělení napětí v okolí podzemního výrubu (obr. 6a), stejně jako vliv stavu porušení na přerozdělení napětí, a nazval oblast horniny, ovlivněné přerozdělením napětí, "ochranná zóna". Wiesmann argumentoval kvalitativním způsobem a zakládal své úvahy na jemu známé zkušenosti z tunelování v tlačivé hornině, na zjištěních z trojosých testů a na napjatostech v elastické desce s otvorem, při plošném zatížení. Poznal a také jasně zdůvodnil vztah mezi horninovým tlakem a deformací: "Velikost působícího tlaku (na ostění) se snižuje s každým zlomkem milimetru, o který se horninový masiv pohne".

První výpočetní model, sloužící pro popsání přerozdělení napětí v desce s otvorem, který bere v úvahu kritérium porušení, pochází od mostního inženýra Maillarta (1923), který v roce 1923 považoval myšlenku "ochranné zóny" za překonanou. To, že se hovoří o oddělených plastických a elastických oblastech, kde je horninový masiv namáhán na mez své trojosé pevnosti nebo kde tomu tak již není, představuje skutečně významný vědecký pokrok. Od Maillarta také dostáváme tuto pregnantní formulaci: "Vybudujeme-li tunelové ostění tak, aby vydrželo tlak okolní horniny, zvýší se pevnost horniny, která se tak může nést sama." Mohr (1957) později ukázal, jak se dá zjistit spolupůsobení mezi tlačivou horninou a ostěním s použitím charakteristické čáry (křivky odezvy horniny) a charakteristik ostění (obr. 6b). Následný, mezinárodně dobře zavedený teoretický vývoj vedl k takzvané "metodě charakteristické křivky", která umožňuje kvantitativní posouzení tlaku horniny. Pod pojmem charakteristická křivka se rozumí funkční vztah mezi radiálním posunutím na hraně otvoru a odporovou silou, působící v tomto místě. Charakteristická křivka se tedy omezuje čistě teoreticky na podmínky osové souměrnosti. To platí jak pro tvar příčného profilu (kruh), tak pro vlastnosti materiálu (homogenita, izotropie), hlavní napjatost (hydrostatické poměry) a odpor ostění. Na přednášce, konané v roce 1956, Mohr prohlásil, že "síly, působící na ostění budou menší, bude-li horninovému masivu umožněno trochu se deformovat. Praktické využití této znalosti vyžaduje, aby se horninový masiv zajišťoval v takovém rozsahu, aby se stal schopným nést sám sebe."

POZOROVÁNÍ A MĚŘENÍ

Jelikož tunelovi inženýři cítí povinnost při řešení svých problémů co možná nejvíce přebírat metody přírodních věd, nikoho nepřekvapí, že kladli takový důraz na pozorování a měření. Systematická měření deformací se začala provádět velmi brzy. Z chování výdřevy získávali poznatky o vývoji horninového tlaku. Například se odvoláváme na Wiesmannovu publikaci z roku 1920 (obr. 7a). Od dvacátých let minulého století se polní měření stala důležitými při výstavbě tlakových tunelů. Často se také prováděla měření ve zkušebních tunelech. První zpráva o "experimentálním tunelu", kterou jsme v literatuře našli, je zpráva týkající se vodovodního přivaděče New Croton pod řekou Harlem v New Yorku (Proctor & White, Terzaghi 1946). Do padesátých let musel mít inženýr k dispozici řadu měřicích technik pro sledování deformací horniny a horninového tlaku. Důležité příspěvky dodal i báňský průmysl. Odvoláváme se zde na odpovídající kapitoly v klasických dílech o tunelování, stejně jako na stovky článků v technických časopisech (obr. 7b). Náš výčet případů vědeckého rozvoje by nebyl úplný, kdybychom se nezmínili o množství laboratorních testů na modelech, které měly objasnit mechanizmus deformace hornin kolem podzemního výrubu. Zde uvádíme mimo jiné první práce Fayola (1885) o chování vrstevnatých hornin a Engesserovy (1882) testy.

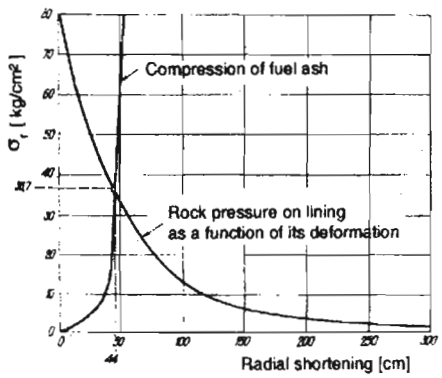
Pokračování v příštím čísle.

ing rock strength". He could already consult the results of the vonKármán's4(1911) triaxial tests on marble from the year 1905. Secondly, the behaviour of a rock in a plastic state cannot be compared to that of a fluid. In a viscous (Newitonian) fluid it is only a question of time until a hydrostatic stress state develops. Due to internal (Coulomb) friction, however, rocks behave quite differently: After the creep and relaxation processes fade away, there remains, due to the cohesion and internal friction, a deviatoric component of stress state, which allows a difference in principal stresses - for axisymmetrical conditions between the radial and tangential stresses - in the rock surrounding a tunnel. As one of the first, Wiesmann recognised the significance of the stress redistribution in the vicinity of an underground opening (Fig. 6a) as well as the influence of the failure state on the stress redistribution, in that he called the zone of rock affected by stress redistribution a "protective zone". Wiesmann argued in a qualitative way basing his considerations on experience known to him of tunnelling in squeezing rock, on the findings from triaxial tests and on the stress conditions in an elastic plate containing a hole under in-plane loading. He recognised and also gave clear reasons for the relationship between rock pressure and deformation: "With each fraction of a millimetre with which the rock mass moves, the amount of pressure acting (on a lining) decreases".

The first computational model for describing the stress redistribution in a plate with a hole in it, taking into account a failure criterion, comes from the bridge engineer Maillart (1923), who in 1923 considered the idea of a "protective zone" to be outdated. In fact, this represents a considerable scientific advance, to speak of separate plastic and elastic regions, whereby the rock mass is stressed to the limit of its triaxial strength or where this is no longer the case. From Maillart we also get the pregnant formulation "If we construct a tunnel lining so as to withstand the external rock pressure acting on it, the strength of the rock mass is increased, thus enabling it to support itself." Mohr (1957) has shown later how the interaction between squeezing ground and the lining can be determined using the characteristic line (ground response curve) and the lining characteristics (Fig. 6b). The subsequent, internationally well established theoretical developments led to the so-called "characteristic line method", which permits quantitative assessment of the rock pressure. Under characteristic line one understands the functional relationship between the radial displacement at the edge of a hole and the resisting force acting there. Thus, the characteristic line is limited purely theoretically to the axisymmetric conditions: this applies both to the cross-sectional shape (circle) and to the material properties (homogeneity, isotropy), the primary state of stress (hydrostatic condition) and the lining resistance. In a lecture held in 1956 Mohr stated that "the forces acting on a lining will be smaller if the rock mass is allowed to deform a little. The practical use of this knowledge requires that the rock mass should only be supported to the extent that it becomes able to support itself."

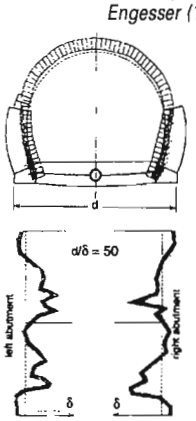
OBSERVATIONS AND MEASUREMENTS

Since in the solution of their problems tunnelling engineers feel obliged, as far as possible, to adopt the methods of the natural sciences, it is not surprising that they laid much emphasis on observations and measurements. Very early on, systematic deformation measurements were carried out in tunnels. From the behaviour of the timbering they became aware of the development of rock pressure. As an example, we refer to a publication of Wiesmann in 1920 (Fig. 7a). Since the 1920s in situ measurements had become important in the construction of pressure tunnels. Measurements in test tunnels had also often been performed. The first report on an "experimental tunnel" that we have found in the literature is one that concerns the New Croton Aqueduct under the Harlem river in New York (Proctor & White, Terzaghi 1946). By the 1950s the engineer had at his disposal a number of measuring techniques for the observation of rock deformations and rock pressure. Mining also supplied important contributions. We refer here to the corresponding chapters in the standard works on tunnelling, as well as hundreds of articles in technical journals (Fig. 7b). Our listing of scientific developments would be incomplete, if the numerous laboratory model tests to clarify the mechanisms of ground deformations around underground openings were not mentioned. He we mention, among others, the early work of Fayol (1885) on the behaviour of layered rocks and the tests of Engesser (1882).



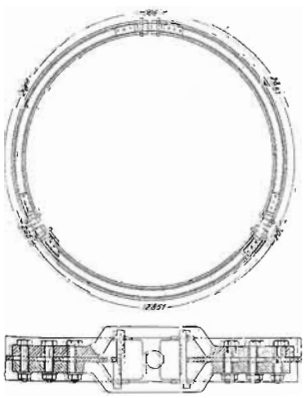
Obr. 6b První znázornění křivky horninové odezvy a charakteristicky ostění

Fig. 6b The first representation of the ground response curve and lining characteristics (Mohr 1957)



Obr. 7a Měření konvergencí k ověření nutnosti zřízení protiklenby

Fig. 7a Measurment of convergences to verify necessity of invert installation



Obr. 7b Tlaková buňka mezi ocelovými rámy pro stanovení horninového tlaku (Gremmler 1933)

Fig. 7b Pressure cell between steel sets to determine rock pressure (Gremmler 1933)

STATIKA NRTM: VLIV ROZPADU PRIMÉRU NA ZATÍŽENÍ SEKUNDÉRU.

THE NATM STATICS: IMPACT OF DISINTEGRATION OF PRIMARY LINING ON LOADING OF SECONDARY LINING

ING. ALEŠ ZAPLETAL, DrSc., METROSTAV, a. s.

ÚVOD

Sekundér je konstrukcí vybudovanou uvnitř jiné konstrukce (konstrukce primér), která ho odděluje od horninového okolí. Když naše úvahy oprostíme od sledování vlivů menší důležitosti (vlastní váha sekundéru, vlivy dotvarování a smrštění sekundéru, resp. reziduálního dotvarování priméru, kolísání teploty uvnitř tunelu, změny napjatosti horninového masivu nastavši po vybudování tunelu) a budeme následovat pouze hlavní myšlenku, dospějeme k názoru, že bezprostřední příčinou zatížení sekundéru jsou především dvě nedostatečnosti priméru: jeho netěsnost vůči vodě a jeho rozpad. Tento článek se týká rozpadu priméru (v dalším textu pouze rozpadu) a pojednává o výpočetním modelu MKP, který definuje rozpadající se primér značně rozvinutým způsobem, umožňujícím sledovat vliv rozpadu na zatížení sekundéru z pozice značně podrobné.

Důležitá část článku je věnována numerické studii, provedené pomocí zmíněného modelu. Ve studii je sledováno, jak jsou při rozpadu obě ostění, primér a sekundér, namáhána horninovými tlaky. Profily ostění jsou kruhové. To dovoluje jednoduchou interpretaci výsledků studie.

PŮVODNÍ NUMERICKÝ MODEL ROZPADU PRIMÉRU

Původni model byl navržen v r. 1998 (viz.[1]). V něm je rozpad chápán jako jev, který postihuje primér globálně, nikoliv jenom někde. Algoritmus rozpadu je koncipován tak, aby vystihl, že rozpad je něco více než to, co se dá vyjádřit měknutím hmoty priméru, co kopíruje postupy, používané při modelaci dotvarování a co se odbývá na bázi změny modulu pružnosti betonu priméru. Změna modulu pružnosti priméru má v celkové skladbě algoritmu rozpadu zajisté své místo prvořadé důležitosti: jako vyjádření jedné, přetvárné, části jevu. Vyjádření druhé části jevu, pevnostní, nelze bez předcházejícího experimentálního průzkumu formulovat pomocí ploch plasticity rozpadajícího se priméru, protože neznáme potřebné funkční vztahy mezi modulem pružnosti na jedné straně a úhlem vnitřního tření a kohezí na straně druhé. Tuto překážku obcházíme tím, že náhradou klademe omezující požadavky na schopnost rozpadajícího se priméru přenášet posouvající síly a tahová napětí. Aby bylo možno tyto požadavky prosadit, je rozpadlý primér definován jako ortogonální diskontinuum s dvojím systémem ploch diskontinuit. První systém je rovnoběžný s osou střednice priméru, druhý je na ni kolmý. Je požadováno, aby na diskontinuitách byla jak soudržnost c , tak tření Φ, tak tahová pevnost σ(t) rovna nule.

Diskontinuity nemají žádný vztah k těm reálným puklinám, které mohou při rozpadu vzniknout. Jsou toliko imaginárním prostředkem, zajišťujícím splnění omezujících požadavků, kterými blokujeme schopnost rozpadajicího se priméru přenášet posouvající síly a tahová napětí (podrobněji: tahová napětí v tom smyslu, že žádné hlavní napětí nesmí být tahové).

Pro názornost říkáme, že rozpadlý, resp. rozpadající se primér je složen z pravoúhlých kostiček předepsaně orientovaných. Jejich hrany jsou orientovány ve směru střednice a tloušťky priméru, samy kostičky jsou seřazeny do řad a sloupců.

Algoritmus dále stanoví, že výpočtový modul pružnosti (tj. ten, který dosazujeme do výpočtu) rozpadlého priméru je roven modulu pružnosti priméru nerozpadlého. Pokud ve dvojici konstrukčních prvků "rozpadlý primér, sekundér" chápeme rozpadlý primér jako mutanta nerozpadlého priméru (rozuměj: nikoliv jako nový objekt na místě původního priméru, tak by tomu mohlo být, kdybychom modelovali třeba přestrojení tunelu, nýbrž jako objekt, který ze svého místa nikdy nebyl odstraněn, jehož původní materiálové vlastnosti však zmutovaly) znamená to, že skutečný modul pružnosti priméru doznává při rozpadu změnu, a to takovou, že $\varphi = 1$, když závislost mezi skutečným modulem rozpadlého priméru $E(\varphi)$ a modulem priméru nerozpadlého $E(o)$ vyjádříme vztahem

$$E(\varphi) = E(o)/(1+\varphi) \quad \ldots\ldots(1)$$

Základní statické důsledky rozpadu seznáme poté, co uvedeme do souladu obecné rovnice rovnováhy klenby, které jsou (viz. obr. 1):

vodorovně: $\frac{dN}{d\alpha} + T - p * R = 0, \quad \ldots\ldots p = p(1) + p(2) \ldots\ldots(2).$

INTRODUCTION

Secondary (final) lining is a structure built inside another structure (i.e. a primary lining structure), which separates it from the surrounding rock. If we do not consider monitoring of the influence of minor effects (the secondary lining's dead load, influence of creeping and shrinking of the secondary lining as the residual creeping of the primary lining, fluctuation of temperatures in the tunnel, changes in the state of stress in the rock mass developed after completion of the tunnel), and follow the main idea only, we will arrive to an opinion that the immediate cause of loading of the final lining is in two imperfections of the primary lining: its untightness and its disintegration.

This paper concerns the disintegration of the primary lining (further only "the disintegration"). It deals with the FEM calculation model, which defines the disintegrating primary lining by a significantly developed manner, enabling monitoring of the influence of the disintegration on loading of the secondary lining from a very detailed position.

An important part of the paper is dedicated to a numeric study, conducted by means of the above-mentioned model. The study monitors how the both linings, i.e. the primary and the secondary lining, are stressed by rock pressures. Cross sections of the linings are circular. This allows a simple interpretation of the study results.

ORIGINAL NUMERIC MODEL OF THE PRIMARY LINING DISINTEGRATION

The original model was designed in 1998 (see [1]). In this model, the disintegration is understood as a phenomenon, which affects the primary lining globally, not only somewhere. The algorithm of disintegration is composed so that to give a true picture of the fact that the disintegration is something more than what can be expressed by softening of the primary lining mass, and what copies procedures applied in modeling of creeping, and what is based on a change in the elasticity modulus of the primary lining concrete.

Obviously, a change in the primary lining modulus of elasticity has its highly important position in the overall composition of the algorithm, i.e. as an expression of one, deformation-related, part of the phenomenon.

The expression of the other, strength-related, part of the phenomenon cannot be formulated without a preceding experimental investigation by means of planes of plasticity of the disintegrating primary lining since we do not know function relations between the elasticity modulus on the one hand and the angle of internal friction and cohesion on the other.

We get around this obstacle by such a way that we, as a compensation, pose limiting requirements on the ability of the disintegrating primary lining to bear shear forces and tensile stresses.

To make application of those requirements possible, the disintegrated primary lining is defined as an orthogonal discontinuum with a dual system of discontinuity planes. The first system is parallel with the central line of the primary lining, the other one is perpendicular to that line. Cohesion c, friction Φ and tensile strength σ(t) is required to be equal to zero.

There is no relation between the discontinuities and actual joints, which can originate during this disintegration. They are an imaginary means only, which ensures achievement of the limiting requirements, through which we block the ability of the disintegrating primary lining to bear shearing forces and tensile stresses (in a more detailed way: the meaning of the term tensile stresses is that no principal stress may be tensile).

For better illustration, we say that a disintegrated or disintegrating primary lining is composed of rectangular blocks with a set orientation. Their edges are oriented in the direction of the central line and thickness of the primary lining, the cubes proper are arranged into rows and columns.

In addition, the algorithm stipulates that the design modulus of elasticity (i.e. the modulus which we insert into the calculation) of a disintegrated primary lining is equal to the elasticity modulus of a non-disintegrated primary lining. If, in a pair of structural elements "disintegrated primary lining, secondary lining" we consider the disintegrated primary lining as a mutant of the non-disintegrated primary lining [to be understood as: not a new object replacing the original primary lining (this could occur if we modeled for example relining of a tunnel), but an object, which has never been removed from its place, but whose original material properties have mutated], we can consider that the actual elastic modulus of the primary lining is changing

svisle: $N - \frac{dT}{d\alpha} - q * R = 0, \quad q = q(1) - q(2) \quad (3),$

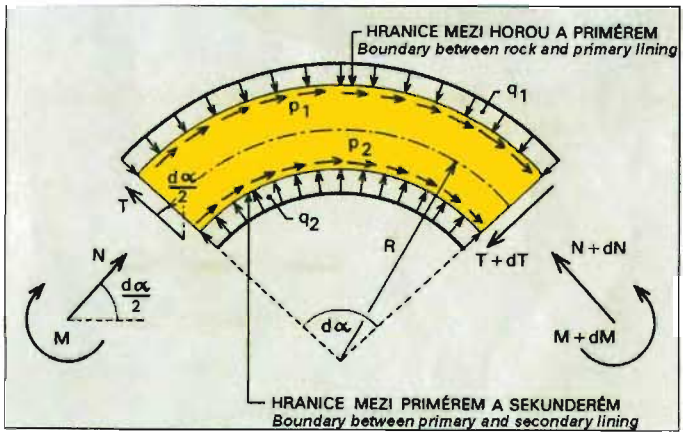
momentově: $-\frac{dM}{d\alpha} + T * R + \frac{p * h * R}{2} = 0 \quad (4),$

s omezením, kladeným na přenos posouvající síly (T=dT=0) a doprovodným omezením p(1)=p(2)=0, které s rozpadem priméru souvisí pouze částečně, neboť na styku priméru se sekundérem je důsledkem přítomnosti izolace.
Za těchto okolností přecházejí obecné rovnice (2)-(4) do následujících rovnic degenerovaných.

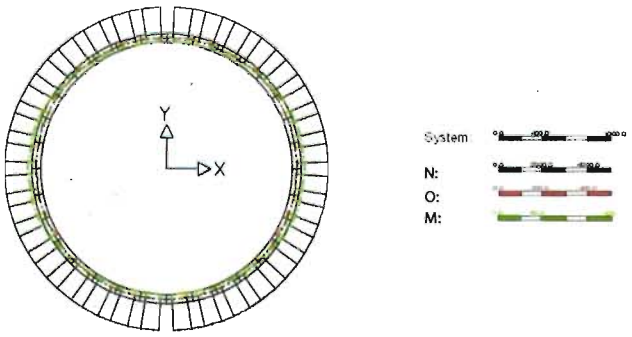
$$\frac{dN}{d\alpha} = 0 \quad (5),$$

$$N = (q(1) - q(2)) * R \quad (6),$$

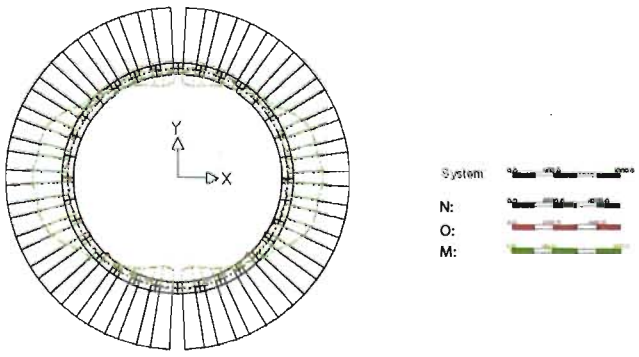
$$\frac{dM}{d\alpha} = 0 \quad (7).$$



Obr.1 Rovnice rovnováhy
Fig. 1 Equilibrium equations



Obr. 2 Typický průběh vnitřních sil v priméru
Fig. 2 Typical course of internal forces in primary lining



Obr. 3 Typický průběh vnitřních sil v sekundéru
Fig. 3 Typical course of internal forces in secondary lining

during the disintegration. The character of the change is that φ=1 if we express the dependence between the actual modulus of the disintegrated primary lining E(φ) and the modulus of the non-disintegrated primary lining E(o) by a relation

$$E(\varphi) = E(o)/(1+\varphi) \quad (1)$$

We will know the basic statical results of the disintegration when we bring into harmony common equations of equilibrium of arch, which are as follows (see Fig.1):

horizontally: $\frac{dN}{d\alpha} + T - p * R = 0, \quad p = p(1) + p(2) \quad (2),$

vertically: $N - \frac{dT}{d\alpha} - q * R = 0, \quad q = q(1) - q(2) \quad (3),$

in terms of moments:

$$-\frac{dM}{d\alpha} + T * R + \frac{p * h * R}{2} = 0 \quad (4),$$

with a limitation imposed on transfer of shearing force (T=dT=0), and an associated limitation p(1)=p(2)=0, which is connected with the disintegration of primary lining partially only, since it is a result of a presence of insulation at the contact of the primary and the secondary linings.
Under the above circumstances, the common equations (2)-(4) are transformed into the following degenerated equations:

$$\frac{dN}{d\alpha} = 0 \quad (5),$$

$$N = (q(1) - q(2)) * R \quad (6),$$

$$\frac{dM}{d\alpha} = 0 \quad (7).$$

2. CONSEQUENCES OF THE DEGENERATED EQUATIONS

The analysis of the degenerated equations leads to some consequences, and makes a formulation of a basic theoretical idea how the loading of the secondary lining changes during the decomposition possible:

2.1 Even a disintegrated primary lining is able, even if to a limited extent, to act as an arch with a simple condition of the combination of internal forces, characterised by a presence of a constant nonzero normal force (a result of the equation (5)).
*2.2 The lower this normal force is, the lower is the loading of the secondary lining (a result of the equation (6) anticipated on the basis of experience). In a limiting case, if N=q(1)*R, the loading of the secondary lining q(2) will be zero.*
2.3 Although, another possibility exists how to achieve a low loading of the secondary lining, which is carried to an extreme value of zero in the speculation, despite the fact that the normal force is not high. This event will occur if the loading of the primary lining from the rock side q(1) is low, thus also N, or q(2) will be low.
*2.4 With an acceptable degree of inaccuracy in the consideration, it is possible to interpret the event N=q(1)*R shown in 2.2 as an initial condition of the tunnel, with unbroken or nearly unbroken primary lining, bearing all rock pressures without participation of the secondary lining.*
The event 2.3 can be understood as a result of an expressive decrease in rock pressures acting on the primary lining. The decrease in those pressures must occur as a law since the disintegrating primary lining gets soft and loses its original rigidity. At least theoretically (it means with no knowledge of the results of the mathematical analysis of this problem), we are entitled to admit that, after a certain time of disintegration, this decrease can be significant.
2.5 An idea is shown in par. 2.4, describing limiting situations of loading of the secondary lining, i.e. a situation in the moment of the start-up of a tunnel operation and a situation after some more closely unspecified time of the operation. We attribute theoretically the condition of the unloaded secondary lining to the both situations. Although, we do not doubt that the secondary lining is loaded during the tunnel operation.
2.6 Justification of this idea has to be verified. We will prove the existence of the extreme loading not only as a mathematical fact, but we also will show that this is a phenomenon, which can be really observed. This is because it is not possible to exclude in advance that the extreme of the loading lies beyond the area of the disintegration possible, i.e. the area, which is absolutely correct in terms of mathematics, but not physically. In such a case, the loading of the secondary lining would continuously increase, and a rule would be valid, which is suggested by intuition, that the highest loading of the secondary lining is achieved at the end of a tunnel operation.
We will satisfy ourselves of the fact that the achievement of the extreme loading really occurs during the operation period of a tunnel by means of a numeric study. Although, before that, we will extend the mathematical model, which we have paid our attention till now.

2. DŮSLEDKY DEGENEROVANÝCH ROVNIC

Rozbor degenerovaných rovnic vede k některým důsledkům a umožňuje formulaci základní teoretické představy o tom, jak se během rozpadu mění zatížení sekundéru:

2.1. I rozpadlé primérní ostění je schopno - byť omezeně - působit jako klenba s jednoduchým stavem kombinace vnitřních sil, vyznačujícím se přítomností konstantní nenulové normálové síly (důsledek rovnice(5)).

2.2. Čím bude tato normálová síla větší, tím bude zatížení sekundéru menší (na základě zkušenosti očekávaný důsledek rovnice (6)). V krajním případě, bude-li N=q(1)*R bude zatížení sekundéru q(2) nulové.

2.3. Existuje však ještě jedna možnost, jak dosáhnout malého, ve spekulaci dovedené do krajnosti nulového zatížení sekundéru, a to přesto, že normálová síla nebude velká. Tento případ nastane, když zatížení priméru ze strany horniny q(1) bude malé, takže i N, resp. q(2) bude malé.

2.4. S přijatelnou dávkou nepřesnosti v úvaze je možno případ N=q(1)*R z 2.2, popř. N ≅ q(1)*R, interpretovat jako počáteční stav tunelu, s neporušeným, popř. téměř neporušeným primérem, přenášejícím veškeré horninové tlaky bez spoluúčasti sekundéru.

Případ 2.3. můžeme chápat jako následek výrazného poklesu horninových tlaků působících na primér. K poklesu těchto tlaků musí při rozpadu zákonitě docházet, neboť rozpadající se primér měkne a ztrácí svoji původní tuhost. Alespoň teoreticky (tedy bez znalosti výsledků matematické analýzy tohoto problému), jsme oprávněni připustit, že po určité době rozpadu může být tento pokles významný.

2.5. V odst.2.4. je vyslovena představa o krajních situacích zatížení sekundéru, totiž situaci při zahájení provozu tunelu a situaci po jakési, blíže nespecifikované, době provozu. Oběma situacím teoreticky přisuzujeme stav sekundéru bez zatížení. Mezitím nepochybujeme o tom, že během provozu tunelu sekundér zatížen je.

Má-li toto všechno platit, pak kauza stanovení toho zatížení horninovým tlakem, na které je nutno sekundér dimenzovat, jest úlohou o nalezení extrémního zatížení sekundéru. Tedy zatížení, které se realizuje kdesi uvnitř provozní doby tunelu, aby poté, co ho je vzestupnou tendencí dosaženo, opět pokleslo.

2.6. Oprávněnost této představy je nutno doložit. A to v tom smyslu, že existenci extremního zatížení prokážeme nejenom jako fakt matematický, nýbrž ukážeme i to, že se jedná o jev, který je možno skutečně pozorovat. Nelze totiž předem vyloučit, že extrém zatížení leží mimo oblast skutečně možného rozpadu (tedy v oblasti, která je zcela korektní matematicky, nikoliv však fyzikálně). V takovém případě by byl sekundér během provozu tunelu neustále přitěžován a platilo by to, co napovídá intuice: Že největšího zatížení sekundéru je dosahováno na konci provozu tunelu.

Pomocí numerické studie se přesvědčíme o tom, že k dosažení extremního zatížení uvnitř provozní doby tunelu vskutku dochází. Předtím ale matematický model, kterému jsme doposud věnovali pozornost, rozšíříme.

3. ROZŠÍŘENÝ MODEL ROZPADU PRIMÉRU

Rozšíření původního matematického modelu dosáhneme, když umožníme, aby:

• Úhel vnitřního tření na diskontinuitách byl $\Phi = \text{const.} \geq 0$. Tím se připouští způsobilost k přenosu posouvajících sil. Vhodnou volbou Φ však může být tato způsobilost řízena.

• Modul pružnosti rozpadlého priméru byl $E(\varphi) = E(o)/(1+\varphi)$, $\varphi \in \langle 0,\infty)$. To znamená, že hmota rozpadlého priméru může měknout nade všechny meze.

Řekneme, že rozšířený model rozpadajícího se priméru je formulován jako dvouparametrický numerický problém s parametry Φ, $E(\varphi)$.

4. NUMERICKÁ STUDIE ROZPADU PRIMÉRU

Pomocí rozšířeného modelu byla provedena numerická studie rozpadu kruhového tunelu, s vnitřním průměrem sekundéru 5,1 m (profil traťového tunelu pražského metra) a tloušťkou stěny 28 cm. Tloušťka priméru byla 20 cm. Modul pružnosti intaktního priméru byl E(o)=19Gpa, modul pružnosti sekundéru byl 27Gpa. Tunel byl umístěn do horninového masivu s deformačním modulem Edef ≅1000Mpa. Zdrojem zatížení byl horninový tlak. Parametry Φ, $E(\varphi)$ nabývaly ve studii hodnot podle tabulky.

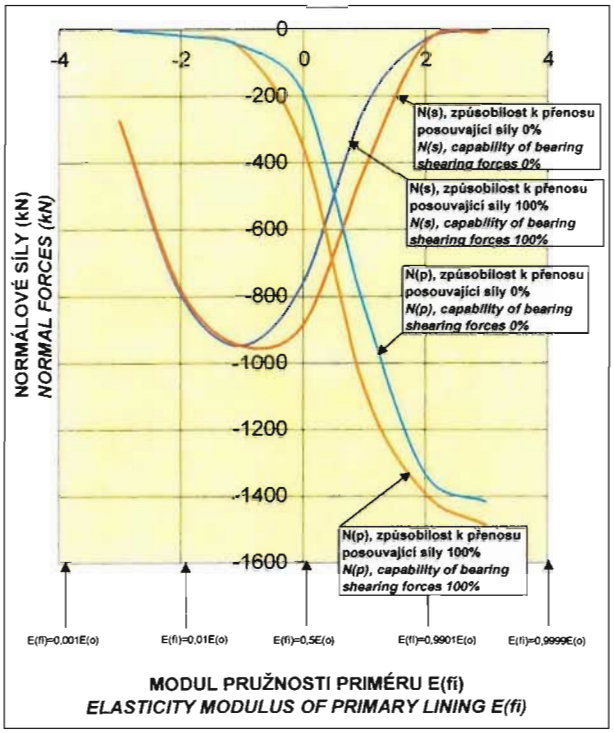
3. EXTENDED MODEL OF DISINTEGRATION OF PRIMARY LINING

We will achieve the extension of the mathematical model if we allow:

• the angle of internal friction on discontinuities to be $\Phi = \text{const.} \geq 0$. Thus a capability of bearing shear forces is admitted. Although, this capability can be controlled by an appropriate choice of Φ.

• the elastic modulus of the disintegrated primary lining to be $E(\varphi) = E(o)/(1+\varphi)$, $\varphi \in \langle 0,\infty)$. This means that the mass of the disintegrated primary lining can soften over all limits.

Let us say that the extended model of the disintegrating primary lining is formulated as a two-parameter problem with parameters Φ, $E(\varphi)$.



Poznámky:
1/ N(p) je normálová síla v priméru
2/ N(s) je normálová síla v sekundéru
3/ Rozpadu priméru odpovídá v grafu pohyb zprava doleva
4/ Modul pružnosti priméru E(fi) je skutečný modul. Liší se od výpočtového modulu pružnosti. E(o) je modul pružnosti intaktního priméru.

Notes:
1/ N(p) is normal force in primary lining
2/ N(s) is normal force in secondary lining
3/ Motion from the right to the left corresponds to the disintegration of primary lining
4/ Elasticity modulus of primary lining E(fi) is a real modulus. It differs from design elasticity modulus. E(o) is elasticity modulus of intact primary lining.

Obr. 4 Normálové síly v priméru a sekundéru při rozpadu priméru
Fig. 4 Normal forces in primary and secondary linings at disintegration of primary lining

4. NUMERIC STUDY OF DISINTEGRATION OF PRIMARY LINING

The extended model was used for a numerical analysis of disintegration of a circular tunnel with internal diameter of the final lining of 5.1 m (the profile of a running tunnel of the Prague Metro), and with wall thickness of 28 cm. Thickness of the primary was 20 cm. Elasticity modulus of the intact primary lining was E(o)=19Gpa, elasticity modulus of the secondary lining was 27Gpa. The tunnel was set into a rock massif with modulus of deformation $E_{def} \cong 1000$Mpa. Rock pressure was the source of the loading. The parameters Φ, $E(\varphi)$ assumed values in the study, shown in the following table.

FI	E(fi)					
Přenos posouvající síly: 0% *Shear force bearing: 0%*	0,9999E(o)	0,9901E(o)	0,5000E(o)	0,0909E(o)	0,0099E(o)	0,0010E(o)
Přenos posouvající síly: 100% *Shear force bearing: 100%*	0,9999E(o)	0,9901E(o)	0,5000E(o)	0,0909E(o)	0,0099E(o)	0,0010E(o)

Tabulka 1: Přehled hodnot parametrů Φ (v tab. značeno FI) a $E(\varphi)$(v tab. značeno E(fi)) z numerické studie

Table 1: Survey of values of parameters Φ (marked as FI in the table) and $E(\varphi)$ (marked as E(fi) in the table) from the numeric study

5. VÝSLEDKY STUDIE

Typický průběh vnitřních sil priméru i sekundéru, které studie poskytla, je znázorněn na obr. 2 a 3. Takový průběh umožňuje popsat stav napjatosti u obou ostění jediným číslem, vyjadřujícím velikost jejich normálových sil. Toto číslo označujeme u priméru symbolem N(p), u sekundéru symbolem N(s).

Vliv rozpadu priméru na velikost těchto normálových sil zaznamenává graf na obr. 4. Na vodorovné ose grafu je vynesen modul pružnosti priméru, měnící se následkem rozpadu (na obr. odpovídá rozpadu pohyb zprava doleva). Svislá

5. THE STUDY RESULTS

A typical course of internal forces in the primary and secondary linings, which were provided by the study, is shown in Fig. 2 and 3. Such the course allows a description of the stress and strain condition of the both linings by a single figure, expressing the magnitude of shearing forces. We mark this figure by a symbol N(p) for the primary lining, and N(s) for the secondary lining. The effect of disintegration of the primary lining on the magnitude of these shearing forces is recorded in the chart shown in Fig. 4. The elasticity

osa je osou normálových sil. Každému ostění přísluší dvě křivky N(p), resp. N(s). Jedna je sestrojena pro případ, že způsobilost priméru k přenosu posouvajících sil je 100%, druhá pro případ, že tato způsobilost je 0%. (Nebylo by moudré učinit na základě blízkosti křivek N(s,100%), N(s,0%) obecný závěr, že schopnost priméru přenášet či nepřenášet posouvající sílu nemá na zatížení sekundéru praktický vliv. V našem případě jsou křivky blízké proto, že posouvající síly priméru jsou malé. Lze dokonce formulovat úlohu, kdy tyto křivky zcela splývají.)

Nečiní potíží přejít od normálových sil k zatížení obou ostění, které je možno s dostatečnou přesností považovat za rovnoměrný tlak. Označme jako q(h) tlak působící na primér ze strany horniny a jako q(s) tlak působící na sekundér ze strany priméru. Dále označme jako q(p) = q(h) - q(s) výsledný tlak na primér. Pak platí: q(p) = N(p)/R(p), q(s) = N(s)/R(s), q(h) = q(p)+q(s), když R(p) (R(s)) je poloměr priméru (sekundéru). Graf závislosti těchto tlaků na stupni rozpadu priméru, vyjádřeném stejně jako na obr. 4 změnou modulu pružnosti, je obsahem obr. 5.

Z grafů na obr. 4 a 5 činíme tyto závěry:

5.1. Horninový tlak, působící na primér, během rozpadu priméru neustále klesá.

5.2. Po nástupu rozpadu začíná primér horninový tlak propouštět. (Slovo "propouštět" používáme jako synonymní pojem k delšímu výroku " přesouvat zatížení z jednoho prvku konstrukce na prvek druhý, v důsledku postupné ztráty nosných schopností prvku prvého".) Propustnost se s postupujícím rozpadem zvětšuje a tlak na sekundér narůstá.

5.3. Když modul pružnosti priméru poklesne na hodnotu $E(\varphi)= \alpha E(o)$,($\alpha<1$ budeme nazývat koeficientem extrému), je propustnost priméru úplná a takovou zůstává i při dále postupujícím rozpadu. Ten je však - jak víme - doprovázen poklesem horninových tlaků. Protože od bodu $\alpha E(o)$ se zatížení sekundéru rovná horninovým tlakům, musí od tohoto bodu doposud narůstající zatížení sekundéru klesat. Proto v bodě $\alpha E(o)$ je zatížení sekundéru extrémní.

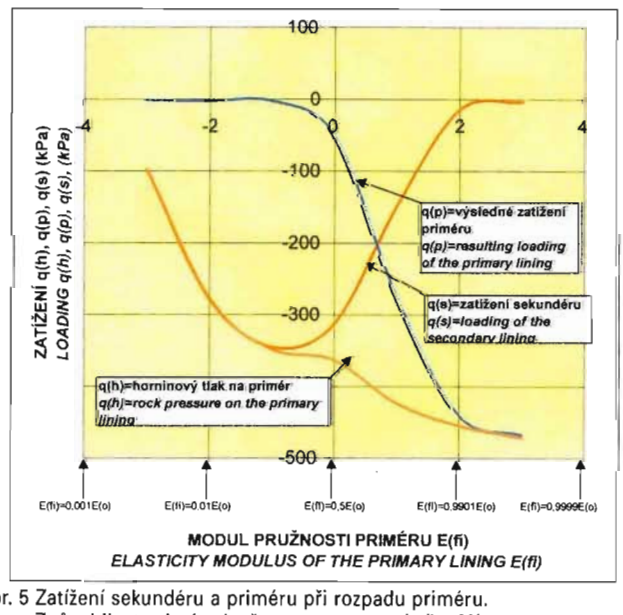
5.4. Extremního zatížení je ve studii dosaženo při koeficientu extrému $\alpha \approx 0,1$ neboli při modulu $E(\varphi) \approx 0,1E(o) \approx 2$Gpa. To je hodnota rozpadem snadno dosažitelná, jak plyne z následujícího paralelního srovnání: degradace priméru se dá přirovnat k přeřazení skalní horniny třídy R2 do třídy R3, neboli k přechodu od zdravých hornin třídy R2 k navětralým horninám třídy R2 (přiřazení tříd je provedeno podle ČSN 73 1001). Takovou degradaci však nelze v obecném případě považovat za konečnou. Naopak nutno očekávat, že bude postupovat dále. Proto nabývá zatížení sekundéru svého extrému v plném souladu s teoretickou úvahou, kterou jsme vyslovili v kap. 2., odst. 2.5. Tedy v čase ležícím kdesi uvnitř doby životnosti tunelu, zatímco před tímto časem, resp. po tomto čase je toto zatížení menší.

6. ZÁVĚR

6.1. Výsledky numerické studie nás opravňují k formulaci následujícího tvrzení: Když je při rozpadu dosaženo úplné propustnosti priméru, je dosaženo také extrémního zatížení sekundéru.

Odůvodnění: Během rozpadu propouští primér horninové tlaky na sekundér. Při úplné propustnosti priméru přenáší sekundér veškerý horninový tlak. Ten však při rozpadu neustále klesá, takže klesá i zatížení sekundéru, ačkoliv toto před dosažením úplné propustnosti priméru narůstalo. To však znamená, že při dosažení úplné propustnosti priméru je sekundér zatížen extrémě.

6.2. Tvrzení 6.1. má širokou platnost matematickou, sahající přes hranice toho, co je přípustné i fyzikálně. To proto, že $E(\varphi)$ může v matematické studii nabýt i nereálně malých hodnot (viz. kap. 3). Uvnitř takto rozšířeného intervalu $E(\varphi)$



Obr. 5 Zatížení sekundéru a priméru při rozpadu priméru.
Způsobilost priméru k přenosu posouvací síly: 0%

Fig. 5 Loading of the secondary and primary linings at disintegration of the primary. Capability of the primary lining of bearing shearing forces 0%

modulus of the primary lining, changing as a result of the disintegration, is plotted on horizontal axis of the chart (movement from the right side to the left corresponds to the disintegration in the Fig.). Vertical axis is the axis of normal forces. Two curves, i.e. N(p) or N(s), appertain to each of the linings. One curve is constructed for the case that the ability of the primary lining to bear shear forces is 100%, the other one for a case that this ability is 0%. (It would be unwise to make a general conclusion, just on the basis of closeness of the curves N(s,100%), N(s,0%), that the ability of the primary lining to bear or not to bear a shearing force has no practical influence on loading of the secondary lining. In our case, the curves are so close because the shearing forces of the primary are small. It is even possible to formulate a problem when these curves completely coincide.)

It is no problem to change from normal forces to a loading of the both linings, which can be considered as a uniform pressure with a sufficient exactness. Let us mark the pressure acting on the primary lining from the rock side as q(h) , and the pressure acting on the secondary lining from the side of primary lining as q(s). Further let us mark the resulting pressure on the primary lining as q(p) = q(h) - q(s). Then it is valid that: q(p) = N(p)/R(p), q(s) = N(s)/R(s), q(h) = q(p)+q(s) if R(p) (R(s)) is the radius of the primary lining (secondary lining). A chart of dependence of these pressures on the degree of disintegration of the primary lining, expressed identically as in Fig. by a change of elastic modulus, is contained in Fig.5.

We are making following conclusions from the charts in Fig. 4 and 5:

5.1 Rock pressure acting on the primary lining continually decreases in the course of disintegration of the primary lining.

5.2 When the disintegration has started, the primary lining starts to release the rock pressure. (We are using the term "to release" as a term synonymous with a longer expression "to transfer the loading from one element of a structure to the other element as a result of a gradual loss of bearing capacities of the former element".) The permeability increases with progressing disintegration, and the pressure on the secondary lining grows.

5.3 When the elasticity modulus of the primary lining drops to a value $E(\varphi) = \alpha E(o)$, (we will call the $\alpha<1$ the coefficient of an extreme), the permeability of the primary lining is total, and it remains to be total even during the proceeding disintegration. Although, as we know, this disintegration is accompanied by a decrease in rock pressures. Since the loading of the secondary lining is equal to the rock pressures starting from the point $\alpha E(o)$, the loading of the secondary lining, growing up to this point, must start decreasing. Therefore, the loading of the secondary lining is extreme at the point $\alpha E(o)$.

5.4 The extreme loading is achieved in the study at the coefficient of extremity $\alpha \approx 0.1$, i.e. at the modulus $E(\varphi) \approx 0.1E(o) \approx 2$Gpa. This value is easily achievable by the disintegration, as follows from the following parallel comparison: degradation of the primary lining can be compared to reclassification of a rock RC2 to RC3, or to a transition from sound rock RC2 to weathered rock RC2 (the classification is carried out according to the CSN 73 1001 standard). Although, such a degradation cannot be considered as final in a general case. In contrary, its continuation must be expected. For that reason, the loading of the secondary lining assumes its extreme value in a full compliance with the theoretical idea we expressed in chapter 2, par. 2.5. It means at a time lying somewhere inside the period of the tunnel life, while this loading is lower before this time, or after this time.

6. CONCLUSION

6.1 The results of the numeric study entitle us to formulate the following statement:

When a total permeability of primary lining is achieved during the disintegration, the extreme loading of the secondary lining is achieved as well.

Explanation: Rock pressures decrease during the disintegration of the primary lining, and the primary lining releases those pressures to the secondary lining. At a total permeability of the primary lining, the secondary lining bears the overall rock pressure. Although, this pressure continuously drops at the disintegration, thus the loading of the secondary lining drops too, despite the fact that it was increasing before the achievement of the total permeability. This means that the secondary lining is loaded extremely at reaching the total permeability of the primary lining.

6.2 The statement 6.1 has a wide mathematical validity, reaching across the borders of what is allowable also in terms of physics. This is because of the fact that $E(\varphi)$ can, in the mathematical study, assume even unrealistically low values (see chapter 3). It is possible, within the interval $E(\varphi)$ extended in such the manner, always to find the extreme of the loading. For that reason, to keep the issue within a framework of physically possible events, it is appropriate to have a certain restriction, at least a restriction of orientation. We will introduce it by means of a coefficient of extremity α as follows:

If we compare sprayed concrete used by Metrostav to a rock RC2, then the relation between the coefficient of extremity α and a degree of disintegration corresponding to this coefficient is expressed by Tab.2.

je možno extrém zatížení vždy nalézti. Proto, abychom problém udrželi v rámci i fyzikálně možného, je namístě určité, alespoň orientační, omezení. Zavedeme je pomocí koeficientu extrému α takto:
Přirovnáme-li stříkaný beton používaný Metrostavem k hornině třídy R2, pak souvislost mezi koeficientem extrému α a jemu odpovídající úrovní rozpadu vyjadřuje tab. 2.

Koeficient extrému *Coefficient of extremity*	Primér (≙hornina tř. R2) je degradován na úroveň *The primary lining (≙ rock RC2) is degraded to a level of*		
	horniny tř. R3 *Rock RC3*	horniny tř. R6 *rock RC6*	písčité zeminy *sandy loams*
α ≅	0,1	0,01	0,001

Tabulka 2: Souvislost mezi koeficientem extrému a a jemu odpovídající úrovní rozpadu priméru

Table 2: Relation between a coefficient of extremity α and a degree of disintegration of primary lining corresponding to this coefficient

Rozpad, kterému je možno přiřadit α ≅ 0,001, se zřejmě nalézá na hranici možných reálných rozpadů, rozpad, kterému odpovídá α<< 0,001 se jeví jako ten, který již reálný není. Proto zastáváme názor, že studie vlivu rozpadu na zatížení sekundéru nemusí být prováděna pro α< 0,001, avšak v intervalu α∈<0,001; 1> by provedena být měla. Tento názor je jistě možno precizovat na základě poznatků o tom, jak rozpad priméru proběhne v té které konkretní situaci. Pokud však takové poznatky nejsou k dispozici, popř. mají-li svůj původ v pouhých domněnkách, je průzkum únosnosti sekundéru na horninové tlaky pro koeficient extrému α∈<0,001; 1> žádoucí.
V tomto intervalu je provedena i naše numerická studie. Ta zpochybňuje jeden apriorní (tedy vyslovený před nabytím zkušeností) názor, který je v některých kruzích někdy možno zaslechnout a který říká, že částečný rozpad priméru způsobuje pouze částečné zatížení sekundéru. Studie prokazuje, že právě částečný rozpad priméru může vyvolat extrémní zatížení sekundéru.

6.3. Extrém zatížení je také funkcí geotechnických charakteristik horninového masivu. Čím je hornina horší, tím rozpadlejší při dosažení extrému musí být primér (tvrzení je výsledkem srovnání zde komentované numerické studie se studií jinou).
Proto nevylučujeme, že mohou nastat situace, kdy je sekundér nejvíce zatěžován až na konci provozní doby tunelu. To bývá intuitivně předpokládáno jako zcela obecné pravidlo. Nám je však nyní zřejmé, že tento stav je sice možný, nikoliv však nutný.

The disintegration which α ≅ 0.001 can be attributed to is obviously found at a limit of possible realistic disintegration. The disintegration which α <<0.001 corresponds to appears as a case which is no more realistic. Therefore, we uphold an opinion that the study on influence of disintegration on loading of the secondary lining does not have to be carried out for α<0.001, but it should be carried out within an interval α∈(0,001; 1). Certainly, this opinion can be made more precise on a basis of the knowledge of how the disintegration of the primary lining will develop in a particular situation. However, if such the knowledge is not available, or it originates from speculations only, the investigation of the rock pressures bearing capacity of the final lining for a coefficient α∈(0,001; 1) is welcome.
Our numerical study has also been conducted within this interval. The study challenges one a priori (it means expressed before an experience is obtained) opinion, which can sometimes be heard in some circles, saying that the partial disintegration of primary lining causes a partial loading of final lining only. The study proves that it is the partial disintegration of the primary lining what can bring about an extreme loading of the secondary lining.

6.3 The extreme of the loading is also a function of geotechnical characteristics of a rock massif. The worse rock, the more disintegrated has the primary lining to be when the extreme is achieved (this statement is a result of a comparison of the study commented in this article with another study).
For that reason we do not exclude a possibility that situations may occur when the secondary lining is most loaded just at the end of the time of operation of a tunnel. This is usually considered to be a totally general rule. Although, it is obvious to us that this state is possible but not inevitable.

SWISSSERVICE®

SWISSSERVICE s.r.o., Karpatská 3, 625 00 Brno
Tel.: 05/47225911, Fax: 05/47225911
www.swissservice.cz, e-mail: jiri.ruta@swissservice.cz

obchodní reprezentace ALIVA - zapsaná známka SIKY AG, Switzerland

Stroje pro stříkání suché a mokré betonové směsi, dávkovače a manipulátory. Technika pro úpravu povrchů strojním stříkáním sanačních směsí a omítek, nanášení barev apod.



AL-500 - mobilní stroj na stříkání betonu
V tomto stříkacím systému jsou na nosném vozidle umístěny osvědčené stroje značky Aliva:
- stroj na stříkání betonu AL-278 (AL-285)
- teleskopické stříkací rameno AL-307 (AL-302)
- dávkovač tekutého urychlovače AL-403.5

- ☐ pro velké a malé tunely (od 3 - 16 m)
- ☐ velké a malé stříkací rameno
- ☐ místo pro 2 - 4 nádrže na urychlovač
- ☐ vynikající pro vysoké svahy
- ☐ vysoká hospodárnost
- ☐ flexibilní díky modulární koncepci
- ☐ přes maximální zatížení plošiny minimální vnější rozměry

aliva® worldwide - nearby

Přehled strojů na stříkání betonu

AL-246.5	AL-252	AL-262.1	AL-278	AL-285.1
				

STABILIZACE ZEMIN A PORUŠENÝCH SKALNÍCH HORNIN POMOCÍ PŘEDEPÍNÁNÍ HORNINOVÉHO PROSTŘEDÍ

SOILS AND FAULTED ROCKS STABILISATION BY MEANS OF PRE-STRESSING THE ROCK ENVIRONMENT

DOC. ING. KAREL VOJTASÍK, CSc., PROF. ING. JOSEF ALDORF, DrSc., RNDr. EVA HRUBEŠOVÁ, PhD., Dr. ING. HYNEK LAHUTA, KATEDRA GEOTECHNIKY A PODZEMNÍHO STAVITELSTVÍ, VŠB - TU OSTRAVA

ÚVOD

Příspěvek zveřejňuje poznatky o nové metodě stabilizace zemin a silně porušených skalních hornin, založené na zásahu do napěťo-deformačního stavu horninového prostředí kolem výrubu pozemního díla, jejímž základem je předepínání horninového prostředí, které je realizováno prostřednictvím technologií injektování a kotvení.

Na katedře geotechniky a pozemního stavitelství je v současné době řešen výzkumný záměr CEZ č. J17/98271200003 "Výzkum vybraných problémů realizace podzemních a likvidace důlních děl ve složitých přírodních podmínkách". Některé dílčí výsledky a poznatky byly v průběhu řešení již prezentovány před odbornou veřejností [1], [2], [3], [4], [5]. Následující příspěvek stručně shrnuje poznatky a závěry, kterých bylo doposud dosaženo.
Stabilita nesoudržných zemin a porušených skalních hornin kolem výrubu podzemního díla je zásadním způsobem ovlivněna stavem napjatosti na plochách primárního porušení (horninové prostředí), eventuálně na kontaktech mezi zrny (nesoudržné zeminy). Nepříznivé, z hlediska stability diskontinuitních prostředí, jsou stavy, kdy na plochách (kontaktech) nespojitosti nastává pokles normálových složek napjatosti. Úměrně poklesu normálové složky napjatosti klesá pevnost a snižují se deformační parametry prostředí jako celku. Změnou stavu napjatosti je ovlivňován stabilitní potenciál horninového prostředí. Při stabilizaci diskontinuitních prostředí je proto potřebné uplatnit postupy, jejichž základem je přímé aktivní zasahování do vývoje napěťo-deformačního stavu uvnitř horninového prostředí.

PRINCIP METODY PŘEDEPÍNÁNÍ HORNINOVÉHO PROSTŘEDÍ POMOCÍ INJEKTOVÁNÍ A KOTVENÍ

Metoda předepínání horninového prostředí je založena na uplatnění technologií injektování a kotvení. Základním rysem obou jmenovaných technologií je jejich existenciální vazba na horninové prostředí. Odtud plyne jejich potenciální předurčení pro jejich nasazení v procesu ovlivňování napěťo-deformačního stavu v horninovém prostředí. Významnou předností, z hlediska volby jejich parametrů, je jejich značná relativní nezávislost na přírodních a technických podmínkách, nabízející dostatek příležitostí kreativně ovlivňovat a řídit proces modifikace vlastností horninového prostředí. Dalším mimořádně významným znakem je jejich dokonalá všestranná technologická kompatibilita, jak vzájemná, tak se všemi současnými typy podpěrných systémů stabilizace horninového prostředí. Zmíněná druhá skutečnost má zásadní význam. Podpěrné stabilizační systémy se vždy uplatňují a nasazují v kategorii definitivní výztuže podzemního díla. Snížení hodnoty zatížení výztuže horninovým tlakem metodou předepínání horninového prostředí může vytvořit příznivější podmínky pro její funkci.
Obě technologie, injektování i kotvení, vnášejí do horninového prostředí předpětí rozdílným způsobem.
Kotvy (svorníky) jsou univerzálním prostředkem, sloužícím ke stabilizaci horninového prostředí i výztužních konstrukcí. Jejich stabilizační funkce je jednoznačně předurčena jejich konstrukcí a spočívá v přenosu tahových a smykových zatížení a napětí. Účinně zabraňují deformacím, které mají shodný směr s podélnou osou kotvy (svorníku). Částečně přenášejí také smykové napětí a deformace. Do prostředí mohou rovněž uměle efektivně vnášet předpětí, jehož směr působení je rovněž shodný s podélnou osou kotvy. Tato činnost a funkce kotev je dnes standardně využívána při stabilizaci horninového prostředí. Předepínání horninového prostředí pomocí kotev je realizovatelné pouze v jednom směru, shodném s podélnou osou kotvy. S ohledem na obvyklý způsob umístění kotev (kolmo k obrysu výrubu) můžeme pomocí kotev účinně zasáhnout do vývoje radiální složky napětí. To má samozřejmě svůj značný význam, ale k dosažení záměru univerzálně ovlivnit napěťo-deformační stav horninového prostředí kolem výrubu to nestačí. Účinného ovlivnění druhé složky tenzoru napjatosti - tangenciálního napětí lze tímto způsobem dosáhnout pouze částečně.
Představa zásahu do napěťo-deformačního stavu v horninovém prostředí prostřednictvím technologie injektování není na první pohled tak zřejmá, jako v případě kotvení. Výsledkem procesu injektování horninového prostředí je v prvé řadě jeho nová kvalita. Během injektování horninového prostředí proudí jeho póry, eventuálně trhlinami, pod tlakem injektážní médium (roztoky, suspenze). Hodnota injektážního tlaku média je obecně dána hydraulickými vlastnostmi prostředí a injektážního média, požadovaným dosahem injektáže, časovým režimem injektování, apod. V mnoha případech

INTRODUCTION

This paper is to inform on a new method of stabilisation of soils and heavily faulted rocks, based on an intervention into stress and strain condition of rock mass around an underground excavation. It is based on pre-stressing of rock environment, carried out by means of grouting and anchoring techniques.
The department of geotechnics and underground engineering is currently solving a research project CEZ No. J17/98271200003 "Research into selected issues of realisation of underground works and liquidation of mining works in complex natural conditions". Some partial results and findings were presented to the professional public in the course of the research work [1], [2], [3], [4], [5]. The following paper is briefly summarising the pieces of knowledge and conclusions achieved up to now.
Stability of non-cohesive soils and faulted rocks around a mined space is affected fundamentally by the state of stress along the planes of primary faulting (rock environment), or at the contact between grains (non-cohesive soils). Unfavourable states, in terms of stability of a discontinuity environment, are the states when a reduction of normal components of stress occurs. Strength is reduced and deformational parameters of the whole environment worsened proportionally to the decline of the normal component of stress. A change in the state of stress affects the stability potential of the rock environment. Therefore, when stabilising a discontinuity environment, it is necessary to apply procedures based on direct, active affecting of development of the stress and strain condition within the rock environment.

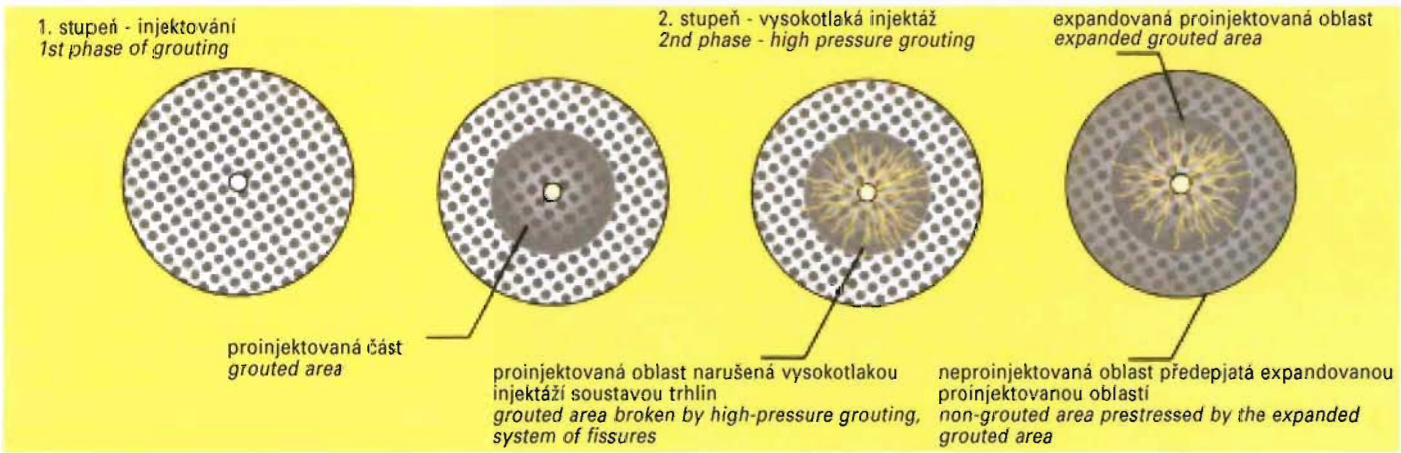
THE PRINCIPLE OF THE METHOD OF PRE-STRESSING A ROCK ENVIRONMENT BY GROUTING AND ANCHORING

The method of rock environment pre-stressing is based on application of grouting and anchoring techniques. A basic feature of the both above-mentioned techniques is their existencionalist relation to the rock environment. Their potential predestination for utilisation in the process of affecting the stress and strain condition within the rock environment follows from this feature. A significant advantage, in terms of selection of its parameters, is their great relative independence on natural and technical conditions. It offers enough opportunities to affect in a creative manner and control the process of modification of the rock environment properties. Another exceptionally important feature is their perfect, all-embracing technological compatibility, both mutual and that with all existing types of support systems of rock environment stabilisation. The latter fact is of a crucial importance. Support systems of stabilisation always come in useful and are applied within a category of final lining of an underground works. A reduction in a value of a support loading by rock pressure by the method of rock environment pre-stressing can create more favourable conditions for its function. The both techniques, i.e. grouting and anchoring, introduce the pre-stress into a rock environment by a different way. Anchors (rock bolts) are a universal means providing stabilisation of both a rock environment and supporting structures. Their stabilisation function is explicitly predetermined by their design. It consists in a transfer of tension and shearing loads and stresses. They effectively prevent deformations, whose direction is identical with the longitudinal axis of an anchor (rock bolt). Partially, they also transfer shearing stress and deformations. They also can, in a artificial, effective manner, introduce a pre-stress into the rock environment, whose direction of action is also identical with the longitudinal axis of the anchor. This action and function of anchors is currently exploited as a standard in stabilising a rock environment. Pre-stressing of a rock environment by means of anchors is viable in one direction only, identical with the longitudinal direction of the anchor. With a view to the usual manner of positioning the anchors (perpendicular to the line of excavation), we can effectively affect the development of the radial component of stress by means of anchors. This is obviously very important, but not sufficient for achievement of the intention to affect universally the stress and strain condition of the rock environment around an excavation. Influencing of the other component of stress, i.e. tangential stress, can be achieved only partially by this manner. An idea of affecting the stress and strain condition within a rock environment by means of the grouting technique is not, at first sight, so obvious as in the case of anchoring. The result of the process of the rock environment grouting is primarily its new quality. During grouting of the rock environment, a grouting medium (solutions, suspensions) flows through its pores or along fissures under a pressure. A value of the grouting

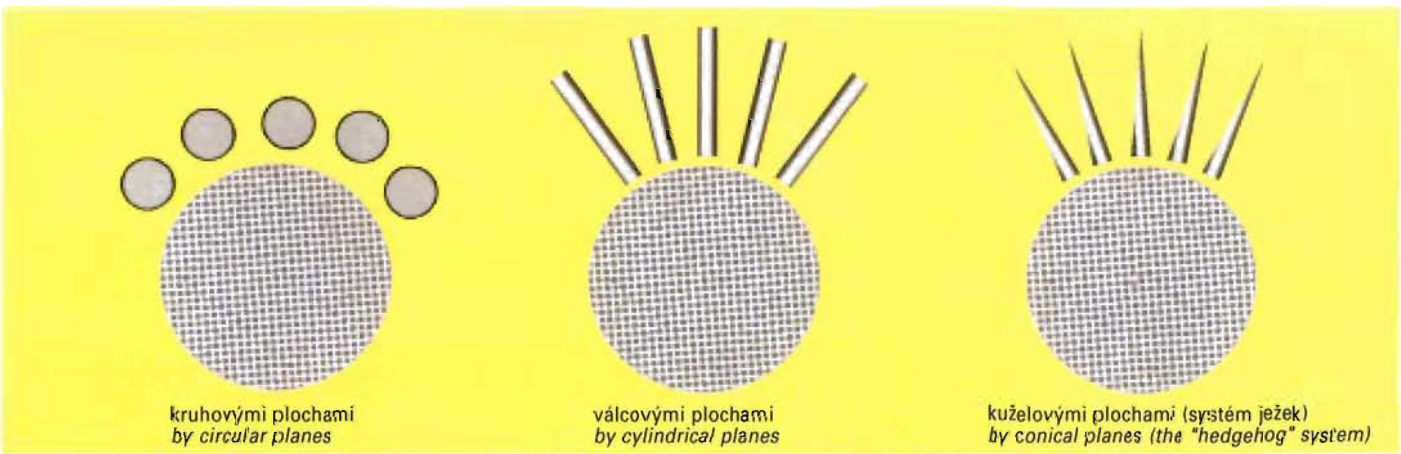
může i několikanásobně překročit hodnoty geostatické napjatosti. To znamená, že po dobu injektování bude hodnota napjatosti dána součtem původního stavu napjatosti s hodnotou tlaku injektážního média. K ovlivnění stavu napjatosti sice dojde, ale nelze očekávat, že tato změna přispěje k požadovanému předepnutí prostředí, tj. zvýšení efektivních napětí mezi částicemi skeletu (zrny zeminy, bloky horniny). Naopak, v těch pórech a trhlinách, kterými bude injektážní médium proudit, po ukončení injektáže poklesne velikost efektivních napětí vlivem viskozních vlastností média. Dosažení předepnutí - zvýšení efektivních napětí mezi pevnými částicemi horninového prostředí je možné jen za určitého režimu injektování - dvoustupňové injektáže, kde ve druhém stupni je udržován tlak v médiu až do jeho vytvrdnutí. To je možno provést především použitím PUR (polyuretany) (obr. 1.). Základ předepínání tvoří dva faktory vystupující v procesu injektování.

Primárním faktorem je již zmíněný tlak injektážního média. Druhým faktorem, podmíněným tlakem a množstvím injektážního média, jsou objemové změny v proinjektované oblasti horninového prostředí, které doprovázejí proces injektování. V první fázi injektování se injektážním médiem zaplní póry a trhliny a vytvoří více méně souvisle proinjektovaná válcová oblast. Cílem této etapy je jak vytvoření proinjekované oblasti (např. válcového tělesa) v požadovaných goemetrických parametrech, tak snížení stupně porušení (zvýšení velikosti horninových bloků). To vede ke změně kvality proinjektováného prostředí (pevnost, propustnost), zřetelně se odlišující od původního stavu, která je jednou z podmínek pro realizaci výrazných objemových změn v etapě následující a pro tvorbu předepjatých horninových struktur (kleneb). V prvé fázi injektování se neočekávají objemové změny. Ve druhé fázi je proinjektovaná oblast záměrně narušena vysokotlakou injekáží tak, aby se v ní nově vytvořily trhliny (nejlépe radiální) členící tuto oblast na dílčí pevné bloky. Trhliny jsou tlakem injektážního média rozevírány a pevné bloky jsou posouvány v radiálním směru od zdroje injektážního média v injektážním vrtu, čímž dochází k zřetelné objemové změně v proinjektované oblasti. Ve druhé fázi injektování není nutné, aby docházelo k dalšímu rozšiřování stávající proinjektované oblasti. Pronikání injektážního média za její hranici je zabráněno hydraulickými vlastnostmi injektážního média (rychle se zvyšující viskozitou), technologií injektování - krátká doba injektování, rychle tuhnoucím médiem, které po přechodu z kapalné do pevné fáze udrží hodnotu injektážního tlaku a zcela nebo částečně ji transformuje do formy silového předpětí. Zvětšení objemu a působení tlaku injektážního média (během druhé fáze injektování) uvnitř proinjektované oblasti má bezprostřední dopad na stav napjatosti v přiléhající oblasti horninového pro-

material's pressure is generally given by hydraulic properties of the environment and grouting medium, a reach of the grouting required, a time-related regime of the grouting operation, etc. In many cases, it can cross values of geostatic stress several times. This means that the value of stress during the grouting operation will be given by a sum of the original stress and the value of the grouting medium pressure. The state of stress will be affected, although it cannot be expected that this change will increment to the pre-stressing of the environment required, i.e. to an increase in effective stresses between the skeleton particles (soil grains, rock blocks). On the contrary, due to the viscosity properties of the medium, the value of effective stresses within the pores and fissures, which the grouting medium will flow through, will drop when the grouting operation has been finished. It is possible to reach the pre-stress, i.e. enhancement of the effective stresses between solid particles, under a certain regime of grouting, i.e. a two-step grouting, where the pressure in the medium is maintained at the second step till the end of the process of its hardening. Above all else, this can be done by utilisation of PUR (polyurethanes) (see Fig.1). The pre-stressing is based on two factors, acting in the grouting process. The primary factor is the above-mentioned pressure of a grouting medium. The other factor, depending on the pressure and volume of the grouting medium, consists in volume changes within the area of the rock environment after the grouting. In the first phase of grouting, the grouting medium fills pores and fissures, and creates a more or less continuously grouted cylindrical area. The aim of this phase is both to create a grouted area (e.g. a cylindrical body), having geometrical parameters required, and diminishing of the degree of faulting (an increase in the size of rock blocks). This results in a change in the quality of the environment being grouted (strength, permeability), which distinctly differs from the original state, and which is one of preconditions for realisation of expressive volume changes in the following stage and for creation of pre-stressed rock structures (rock arches). The volume changes are not expected within the first stage of grouting. In the second stage, the area already stabilised by grouting is broken intentionally by high-pressure grouting so that new fissures are created (preferably radial ones), dividing this area into partial firm blocks. The pressure of the grouting medium opens the fissures and shifts the firm blocks in a radial direction from the source of the grouting medium in the grout hole. Thus, an expressive volume change origins within the grouted area. Another expansion of the existing grouted area in the second stage of grouting is not necessary. Penetration of the grouting medium beyond this area is prevented thanks to the hydraulic properties of the grouting medium (rapidly increasing viscosity) and by the grouting tech-



Obr. 1 Princip předepínání prostředí
Fig. 1 Principle of prestressing of environment



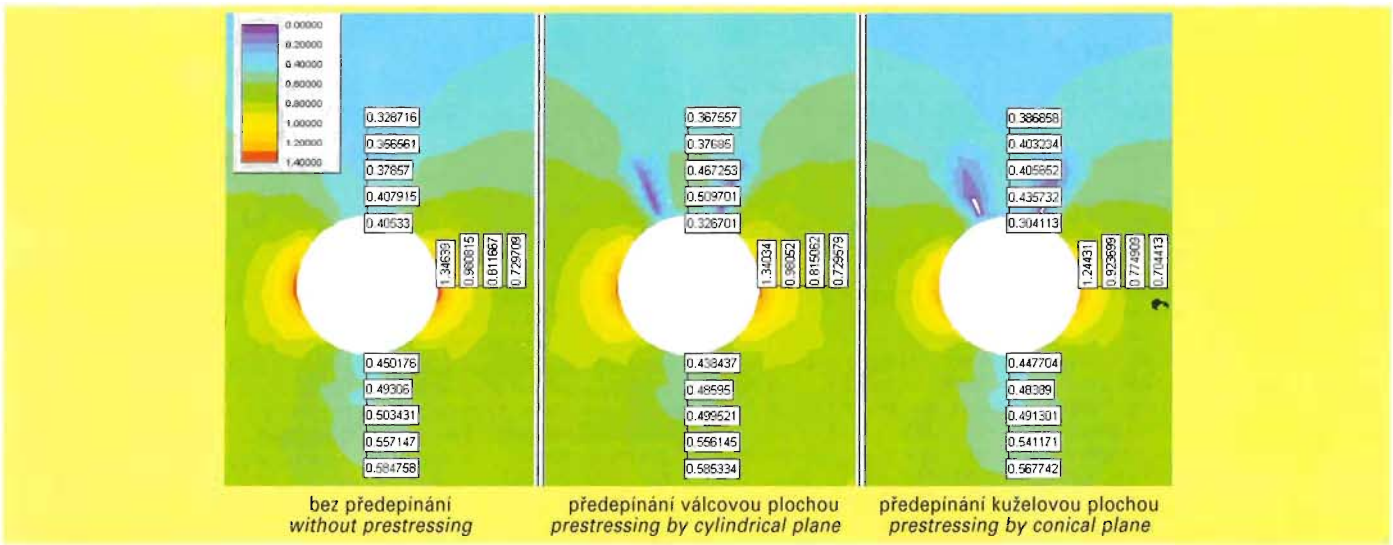
Obr. 2 Schéma předepínání horninového prostředí
Fig. 2 Schemes of prestressing of rock environment

středí, která je již mimo přímý dosah a vliv tlaku injektážního média. Předepnutí horninového prostředí nebude omezeno pouze na proinjektovanou část, ale uplatní se i v sousedních neproinjektovaných oblastech. Tato skutečnost je základem pro tzv. "předepínání horninového prostředí parciální injektáží", kdy mezi dvěma, eventuálně několika injektovanými oblastmi bude sevřena oblast neproinjektovaná, příp. oblast, ve které je kusovitost horniny upravena předběžným zpevněním. Globální změny napjatosti (předepnutí) horninového prostředí lze tedy dosáhnout způsobem eliminujícím potřebu souvislého proinjektování. Objemové změny a tlakové předepnutí injektážním médiem (ve druhém stupni injektování) budou mít v horninovém prostředí stejné účinky a ovlivní tensor napjatosti ve všech směrech (3D). V případě napjatosti výrubu dlouhého podzemního díla se předepnutí prostřednictvím dvoustupňové injektáže významně uplatní ve dvou základních směrech (vzhledem k obrysu výrubu) - radiálním a tangenciálním. Předepnutí zvyšuje radiální složku napjatosti, která obecně destabilizuje horninové prostředí a zvyšuje tangenciální složku, která velmi účinně potlačuje a eliminuje vznik oblastí namáhaných tahovým napětím a přispívá ke stabilizaci horninového prostředí a aktivizuje autostabilizační potenciál horninového prostředí.

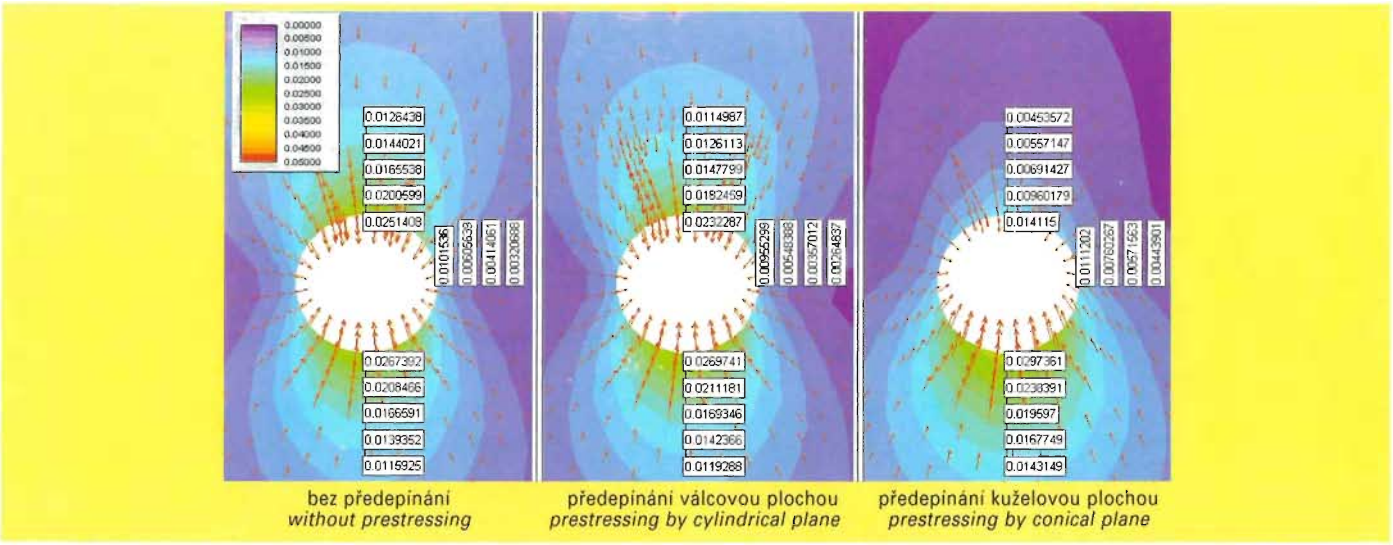
Role kotev v procesu předepínání horninového prostředí spočívá v usměrnění účinků předepínání procesem injektování. Jejich úkolem je zabránit nežádoucímu uvolnění radiálních napětí a nedovolit vzniku a rozvoji radiálních deformací ve směru k obrysu výrubu. Tyto zvyšují hodnotu zatížení a zároveň uvolněním radiální složky napjatosti také snižují sevření horninového prostředí kolem výrubu tangenciální složkou napjatosti a oslabují stabilitu (autostabilizační schopnosti) horninového prostředí.

Výše uvedená hypotéza účinku dvoufázové injektáže a kotvení předkládá nový pohled na jejich funkci při stabilizaci horninového prostředí. Integrují se v něm společné rysy vlastní oběma technologiím, tj. aktivní a na dalších okolnostech nezávislý způsob zásahu do vývoje napěťo-deformačního stavu. Kombinují se v něm specifické rysy obou technologií. U technologie

nique, i.e. short time of the grouting operation using a fast hardening medium, which keeps the value of grouting pressure after the transition from the liquid to solid phase, and fully or partially transforms it into a form of stress, i.e. the pre-stress. The volume increase and action of the pressure of the grouting medium (during the second phase of grouting) within the grouted area directly influences the state of stress within the adjoining area of the rock environment, which is already beyond direct reach and influence of the pressure of the grouting medium. The pre-stressing of the rock environment will not be limited to the grouted area only. It will come in useful even in neighbouring non-grouted areas. This fact is a basis for so called "pre-stressing of a rock environment by partial grouting", where a non-grouted area or an area where the rock fragmentation has been improved by pre-grouting is locked between two or several grouted areas. This means that global changes in the state of stress (pre-stressing) of a rock environment can be achieved by a way eliminating a need of continuous application of grouting. Volume changes and pressure pre-stressing by a grouting medium (in the second stage of grouting) will have identical impact in the rock environment, and will affect the tensor of stress in all directions (3D). In case of the state of stress at an excavation of a long underground works, pre-stressing by means of the two-step grouting will come in useful in two basic directions (depending on the excavated cross section), i.e. radial and tangential. The pre-stress enhances the radial component of the state of stress, which generally destabilises a rock environment and increases the tangential component, which suppresses very efficiently and eliminates origination of tension-stressed areas, and increments to stabilisation of rock environment, and activates rock environment's self-stabilisation potential. The role of anchors in the process of pre-stressing of rock environment consists in giving direction to the pre-stressing effects induced by the grouting process. Their task is to prevent the radial stress from undesired releasing, and disallow origination and development of radial deformations in the direction towards the line of excavation. These increase the value of loading and, in



Obr. 3 Průběh hodnot hlavního napětí SIGMA 1
Fig. 3 The course of values of principal stress SIGMA 1



Obr. 4 Průběh hodnot posunů
Fig. 4 The course of values of displacements

injektování schopnost vyvolat 3D změnu napjatosti. Technologie kotvení je způsobilá k zásahu do napěťo-deformačního stavu s jednoznačným směrovým účinkem. Cílem injektování a kotvení při předepínání je záměrné ovlivnění a vytvoření takového stavu napjatosti v horninovém prostředí kolem výrubu pozemního díla, který nedegraduje jeho stabilitní potenciál. Rovnoměrný vývoj tangenciálního a radiálního napětí, snížení smykových napětí, minimalizace změn během vývojových fází stavů napjatosti od počátku do konce realizace podzemního díla mají za následek udržení a zachování horninového prostředí v příznivějším stabilitním stavu, pokles a dosažení rovnoměrné hodnoty zatížení výztužní konstrukce podzemního díla.

SCHÉMATA PŘEDEPÍNÁNÍ HORNINOVÉHO PROSTŘEDÍ KOLEM VÝRUBU PODZEMNÍHO DÍLA

Schémata předpínání horninového prostředí kolem výrubu podzemního díla vycházejí z předpokladu, že proces předepínání se stane součástí realizačního cyklu výstavby podzemního díla a bude schopen neomezeně vstupovat do tohoto procesu během jeho celé časoprostorové dimenze.
Systémy předepínání horninového prostředí jsou navrženy ve dvou základních časoprostorových formách. Prvá forma předpokládá uskutečnění předepnutí horninového prostředí v předstihu před vlastní realizací výlomu výrubu podzemního díla - vytvoření předepnutého ochranného deštníku. Druhá forma předepínání horninového prostředí je proveditelná teprve až během výlomů a v prvních fázích vyztužování výrubu podzemního díla.

Základem předepínání horninového prostředí v předstihu před realizací výlomu výrubu podzemního díla je předepínání realizované soustavou kruhových válcových ploch, umístěných v horninovém prostředí s konstantní velikostí rozestupu na linii kopírující obvod výrubu. Směr orientace válcových ploch je jen mírně odkloněn od axiální osy podzemního díla (obr. 2. a). Soustava válcových ploch tak vytváří v horninovém prostředí kolem příčného profilu výrubu strukturu neúplné pažicí ochranné clony - ochranný deštník. Tuto formu předepnutí lze prakticky provést z prostoru stávající čelby zajištěného díla. Za předpokladu dostatečného předstihu válcových ploch před čelbou díla, jehož velikost odpovídá alespoň násobku jedné šířky díla, může být předepnutí horninového prostředí provedeno v podmínkách primární napjatosti, nezasažené vlivy souvisejícími s realizací výrubu. Při uplatnění této formy předepínání nejsou usměrňovány účinky předepínání vysokotlakou injektáží s pomocí kotev, neboť v tomto případě tato operace ztrácí význam.
Druhá forma předepínání horninového prostředí je založena opět na předepínání realizovaném soustavou válcových ploch. Tentokrát jsou válcové plochy umístěny v příčné rovině k podélné ose díla, radiálním způsobem ve směru normál k obvodu výrubu podzemního díla (obr. 2. b, c). Tuto formu realizace předepínání je možno provést z částečně, nebo na plný profil otevřeného prostoru podzemního díla.

Poznatky o chování a změnách v napěťo-deformačním stavu v horninovém prostředí kolem výrubu podzemního díla za podmínek jeho napěťového-silového předepínání byly stanoveny na základě matematického modelování.

V průběhu řešení grantového projektu byla pro oba základní způsoby předepínání navržena široká škála možných variant předepínání horninového prostředí kolem obrysu výrubu podzemního díla, pro které byly připraveny výpočetní modely a provedeno jejich řešení a vyhodnocení.
Z této analýzy posléze vyplynuly určité poznatky, které určily v obecné rovině nejvhodnější - nejefektivnější formu předepínání horninového prostředí kolem výrubu podzemního díla. Touto formou je kuželová plocha (systém ježek), která je vrcholem orientována od výrubu směrem do horninového prostředí (obr. 2. c).
Výsledky jedné z mnoha řešených situací, dokumentující změny v průběhů deformací horninového prostředí v nadloží a na obrysu výrubu pozemního díla, jsou shrnuty a graficky zpracovány v následující sérii obrázků.

Průběh hodnot hlavního napětí σ1 kolem výrubu díla pro tři situace: bez předepínání, předepínání válcovou plochou, předepínání kuželovou plochou, (obr. 3.)
Průběh hodnot posunů kolem výrubu díla pro tři situace: bez předepínání, předepínání válcovou plochou, předepínání kuželovou plochou, (obr. 4.)
Srovnání průběhů hodnot posunů v nadloží nad vrcholem klenby výrubu pro předepínání dvěma válcovými a kuželovými plochami, odklon os ploch předepínání činí 45° a hodnoty předepínacího napětí jsou 1-, 1,5-, 2násobek hodnoty primárního hlavního napětí σ1 (primσ1), (obr. 5.)
Srovnání průběhů hodnot poměrných posunů v nadloží nad vrcholem klenby výrubu pro předepínání dvěma válcovými a kuželovými plochami, odklon os ploch předepínání činí 45° a hodnoty předepínacího napětí jsou 1-, 1,5-, 2násobek hodnoty primárního hlavního napětí σ1 (primσ1), (obr. 6.)
Poměrné posuny obrysu výrubu pro situace předepínání dvěma kuželovými plochami, odklon os ploch předepínání činí 45°, hodnota předepínacího napětí je 1,5násobek primσ1 a různé poměry délky hranice předepínání k poloměru klenby výrubu (1,5, 1, 0,75, 0,5), (obr. 7.)
Poměrné posuny v nadloží nad vrcholem klenby výrubu pro situace předepínání dvěma kuželovými plochami, odklon os ploch předepínání činí 45°, hodnota předepínacího napětí je 1,5násobek primσ1 a různé poměry délky hranice předepínání k poloměru klenby výrubu (1,5, 1, 0,75, 0,5), (obr. 8.)

the same time, as a result of releasing of the radial component of stress, also reduce clamping of the rock environment around the excavation by the tangential component of stress, and diminish the stability (self-stabilising ability) of the rock environment.
The above mentioned hypothesis concerning the effect of the two-step grouting and anchoring suggests a new view of their function in rock environment stabilisation. This view integrates common features of the both techniques, i.e. an active way of affecting the development of the stress and strain condition, which is independent on other conditions. It combines specific features of the both techniques. The grouting technique is capable of bringing about 3D change in the state of stress. The anchoring technique is suitable for affecting the stress and strain condition with a unambiguous directional effect. The aim of grouting and anchoring at the pre-stressing is intentional influencing and creation of such a state of stress within a rock environment around an underground excavation, which does not degrade its stability potential. An even development of tangential and radial stresses, reduction of shearing stresses, minimisation of changes during the development phases of the stresses from the beginning up to the end of realisation of an underground works result in keeping and maintaining the rock environment in a more favourable stability condition, reduction and achievement of a uniform value of loading of the underground works' support structure.

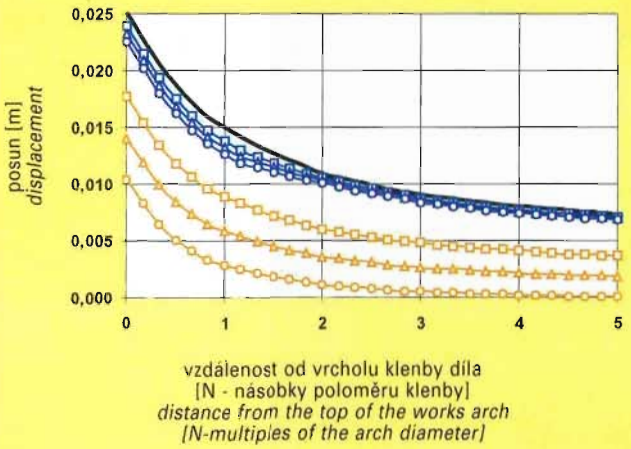
3. SCHEMES OF PRE-STRESSING OF ROCK ENVIRONMENT AROUND AN UNDERGROUND WORKS EXCAVATION

The schemes of pre-stressing of rock environment around an underground excavation are based on an assumption that the process of pre-stressing will become a part of the realisation cycle of the underground construction, and will be able to enter this process without any stint in the course of its overall space-time dimension. The systems of pre-stressing of the rock environment are designed in two basic space-time forms. The first form assumes that the rock environment is pre-stressed in advance, before the excavation operations proper, i.e. creation of a pre-stressed protective umbrella. The other form of pre-stressing of the rock environment is viable during excavation and during initial phases of supporting of the underground opening only. The pre-stressing of a rock environment in advance before the performance of the excavation of an underground works is based on a set of circular, cylindrical planes, located in the rock environment, having a constant spacing at lines copying the circumference of the future opening. The direction of orientation of the cylindrical planes slightly deviates from the axial axis of the underground works (see Fig. 2a). Thus, the set of cylindrical planes creates a structure of an incomplete supporting protective diaphragm, i.e. a protective umbrella in the rock environment around the cross section of the cavity. This form of pre-stressing can be practically applied from the space of existing face of supported works. If a sufficient advance of the cylindrical planes ahead of the face of the underground works is provided, whose size corresponds at least to a multiple of one width of the works, the pre-stressing of the rock environment can be performed under the conditions of primary stress, untouched by the effects connected with excavation operations. At application of this form of pre-stressing, the effects of pre-stressing by high-pressure grouting are not given a direction by means of anchors since this operation loses its importance in this case. The other form of pre-stressing of a rock environment is again based on pre-stressing performed by means of a set of cylindrical planes. In this case, the cylindrical planes are located at a plane transverse to the longitudinal axis of the works, in a radial manner, in the direction of lines normal to the circumference of the underground opening (see Figs. 2b, c). This form of realisation of the pre-stressing can be applied from partially opened or full-face excavated space of the underground works.
The pieces of knowledge about the behaviour of and changes in the stress and strain condition of a rock environment around an underground excavation under the conditions of its stress-force pre-stressing were determined on a basis of mathematical modelling. In the course of solving the grant project, a wide scale of possible variants of pre-stressing of rock environment around the perimeter of an underground excavation was designed for the both basic ways of pre-stressing. Calculation models were prepared for the variants, solved and assessed. Certain pieces of knowledge followed from this analysis, which determined, at a general level, the most suitable, i.e. the most efficient form of pre-stressing of rock environment around an underground excavation. This form is a conical plane (a hedgehog system), whose top is oriented from the excavation towards the rock environment (see Fig. 2c).Results of one of many solved situations, documenting the changes in the course of the process of deformation of the rock environment at the overburden and along the periphery of an underground cavity are summarised and processed graphically in the following series of figures:

- development of values of principal stress σ1 around an underground excavation for three situations: without pre-stressing, pre-stressing by means of a cylindrical plane, pre-stressing by means of a conical plane (see Fig. 3)
- development of values of displacements around an underground excavation for three situations: without pre-stressing, pre-stressing by means of a cylindrical plane, pre-stressing by means of a conical plane (see Fig. 4)
- comparison of the development of displacements at the overburden above the top of the excavation vault for pre-stressing by means of two cylindrical and conical planes, the deviation of the centre lines of the planes of pre-stressing is of 45°, and the values of the pre-stress are equal to 1, 1.5, 2 times

Průběh posunů v nadloží nad vrcholem klenby výrubu
The course of displacements at the overburden above the top of the excavation arch

varianta - předepínání klenby 2 plochami, odklon os ploch 45°
variant - prestressing of the arch by 2 planes, declination of the planes's axes 45°



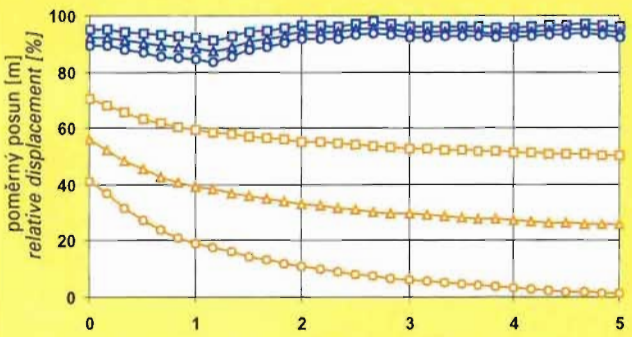
vzdálenost od vrcholu klenby díla
[N - násobky poloměru klenby]
distance from the top of the works arch
[N-multiples of the arch diameter]

KPP 1xprimSIG1
KPP 1.5xprimSIG1
KPP 2xprimSIG1
VPP 1xprimSIG1
VPP 1.5xprimSIG1
VPP 2xprimSIG1
bez úprav
without treatment

KPP - kuželová plocha předepínání (ježek)
KPP - conical plane of prestressing, "hedgehog" prestressing
VPP - válcová plocha předepínání
VPP - cylindrical plane of prestressing

Poměrný posun v nadloží nad vrcholem klenby výrubu
Relative displacement at the overburden above the top of the excavation arch

varianta - předepínání klenby 2 plochami, odklon os ploch 45°
variant - prestressing of the arch by 2 planes, declination of the planes's axes 45°



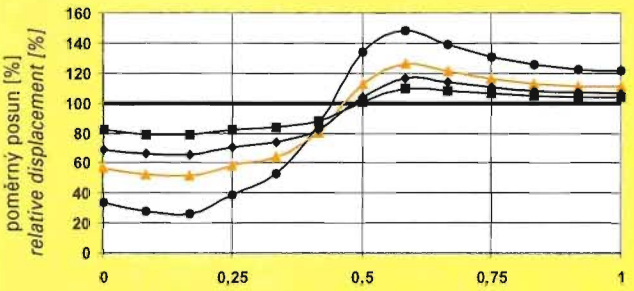
vzdálenost od vrcholu klenby díla
[N - násobky poloměru klendy]
distance from the top of the works arch
[N-multiples of the arch diameter]

KPP - 1xprimSIG1
KPP - 1.5xprimSIG1
KPP - 2xprimSIG1
VPP - 1xprimSIG1
VPP - 1.5xprimSIG1
VPP - 2xprimSIG1

KPP - kuželová plocha předepínání (ježek)
KPP - conical plane of prestressing, "hedgehog" prestressing
VPP - válcová plocha předepínání
VPP - cylindrical plane of prestressing

Poměrný posun na obrysu výrubu
Relative displacement at the excavation contour

předepínání klenby 2 kuželovými plochami (ježek), odklon os ploch 45°, předepínací napětí 1,5xSIG1
prestressing of the arch by 2 conical planes (hedgehog), declination of the planes's axes 45; prestress 1.5xSIG1



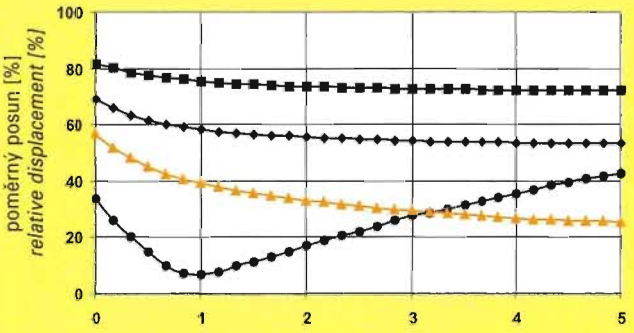
obvodový úhel - NxPI [rad]
(měřeno od vrcholu klenby)
periphery angle - NxP [rad]
(measured from the arch top)

bez předepínání
without treatment
DHP/PKV=1,5
DHP/PKV=1
DHP/PKV=0,75
DHP/PKV=0,5

DHP - délka hranice předepínání
length of the limit of prestressing
PKV - ploměr klenby výrubu
radius of the excavation arch

Poměrný posun v nadloží nad vrcholem klenby výrubu
Relative displacement at the overburden, above the top of the excavation arch

varianta - předepínání klenby 2 plochami odklon os ploch 45°
variant - prestressing of the arch by 2 planes, declination of the planes's axes 45°



vzdálenost od vrcholu klenby díla
[N - násobky poloměru klendy]
distance from the top of the works arch
[N-multiples of the arch diameter]

DHP/PKV = 1,5
DHP/PKV = 1
DHP/PKV = 0.75
DHP/PKV = 0.5

DHP - délka hranice předepínání
length of the limit of prestressing
PKV - ploměr klenby výrubu
radius of the excavation arch

4. ZÁVĚR

Na základě metody matematického modelování byla studována problematika možností aktivních zásahů do vývoje napěťo-deformačního stavu kolem výrubů podzemních děl. Středem pozornosti bádání byly tři problémové okruhy:
- na základě modelování vlivů účinků předepínání na horninové prostředí kolem výrubu podzemního díla a jejich porovnání se standardně uplatňovanými postupy stabilizace se provedlo zhodnocení možností uplatnění této metody v praxi;
- vypracování teorie mechanizmu procesu předepínání prostředí, založeném na vzájemné součinnosti kotvení a injektování prostředí;
- hledání a návrh nejvhodnějších schémat předepínání horninového prostředí kolem výrubu podzemního díla s záměrem minimalizovat deformační projevy horninového prostředí.

Výsledky dosažené při řešení opravňují vyslovit názor, že metoda předepínání je schopna významným způsobem zasáhnout do vývoje napěťo-deformačního stavu, a to nejen v prostředí kolem výrubu podzemního díla, tj. v místech, kde se předepínání bezprostředně realizuje, ale i v oblastech vzdálených od míst předepínání (nadloží) a účinně napomáhat při stabilizaci horninového prostředí. S její pomocí lze dosáhnout významného snížení deformace horninového prostředí, a to nejen na obrysu výrubu podzemního díla, ale i v nadloží díla.

Z mnoha navržených schémat předepínání obrysu horninového prostředí kolem výrubu podzemního díla vyplynulo, že nejúčinnější je předepínání realizované obecně formou kuželové plochy.

Vlivy dalších významných faktorů, charakterizujících předepínání obrysu horninového prostředí kolem výrubu podzemního díla, jakými jsou např. počet předepínacích ploch, vzájemná lokalizace předepínacích ploch na obrysu výrubu, geometrie kuželové plochy, poměr délky předepínání k poloměru klenby výrubu jsou uveřejněny v [5].

LITERATURA:

[1] Vojtasík, K. - Aldorf, J. - Hrubešeová, E. - Ďurove, J.: Vliv parciálního předepínání na stabilitu horninového prostředí kolem výrubu. Sborník příspěvků mezinárodní konference Geotechnika 99 - základ moderních technologií výstavby, Ostrava 21. - 22. 9. 1999, str. 121 - 123, ISBN 80-7078-702-3

[2] Vojtasík, K. - Aldorf, J. - Hrubešeová, E. - Ďurove, J.: Stabilizace silně porušeného a nesoudržného horninového prostředí metodou tangenciálního předepnutí parciální injektáží a kotvením. Miedzynarodowa Konferencja IV. Szkola Geomechaniki, Gliwice-Ustron 18. - 22. 10. 1999, str. 19 - 25, ISBN 83-911515-0-6

[3] Hrubešová, E. - Aldorf, J. - Vojtasík, K. - Lahuta, H. - Ďurove J.: Příspěvek k problematice modelování injektážních prací v trhlinatém prostředí. Sborník 5. mezinárodního semináře Zpevňování a těsnění hornin a stavebních konstrukcí 2000. VŠB-TU Ostrava, 11. 2. 2000, ISBN 80-7078-754-6, str. 122 - 128.

[4] Vojtasík, K. - Aldorf, J. - Hrubešová, E. - Lahuta, H. - Ďurove, J.: A method of partial rock mass prestressing in the surrounding of the underground excavations as the means of its stability improvement. Sborník mez. sympozia "Underground structures", Krakow, Polsko, 25. - 27. 9.2000, ISBN 83-88408-16-X, str. 624 - 632.

[5] Závěrečná zpráva grantové projektu GAČR. 103/99/1495 "Výzkum metod parciálního předepínaného zpevňování horninového masivu v okolí podzemních děl jako prostředek optimalizace zatížení výztuže". VŠB-TU Ostrava, prosinec 2000.

Článek byl zpracován za podpory MŠMT ČR (Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy) v rámci řešení výzkumného záměru CEZ č. J17/98271200003 "Výzkum vybraných problémů realizace podzemních a likvidace důlních děl ve složitých přírodních podmínkách".

the value of primary stress σ1 (primσ1), (see Fig.5)
- comparison of the development of values of relative displacements at the overburden above the top of the excavation vault for pre-stressing by means of two cylindrical and conical planes, the deviation of the centre lines of the planes of pre-stressing is of 45°, and the values of the pre-stress are equal 1, 1.5, 2 times the value of primary stress σ1 (primσ1), (see Fig.6)
- relative displacements of the periphery of an underground cavity for the situations of pre-stressing by means of two conical planes, the deviation of the centre lines of pre-stressing is of 45°, the value of the pre-stress is 1.5 times primσ1, and various proportions of the length of pre-stressing limit to the excavation vault radius (1.5, 1, 0.75, 0.5), (see Fig.7)
- relative displacements at the overburden above the top of the excavation vault for the situations of pre-stressing by means of two conical planes, the deviation of the centre lines of pre-stressing is 45°, the value of the pre-stress is 1.5 times primσ1, and various proportions of the length of pre-stressing limit to the excavation vault's radius (1.5, 1, 0.75, 0.5), (see Fig.8)

4. CONCLUSION

The issue of the possibilities of an active intervention into the development of the stress and strain condition around underground excavations was studied on the basis of a mathematical modelling method. The focus was on the three following areas of the issues:
- based on modelling of influence of pre-stressing effects on a rock environment around an underground excavation and their comparison with conventionally applied procedures of stabilisation, there was carried out an assessment of the possibilities of application of this method in practice
- development of a theory of the mechanism of an environment pre-stressing, based on the interaction between anchoring and grouting of the environment
- searching for and design of the most appropriate schemes of pre-stressing of an underground environment around an underground excavation, with an intention to minimise deformational manifestations of the rock environment
The results achieved during the work on the solution entitle us to express an opinion that the pre-stressing method is capable of affecting the development of the stress and strain condition significantly, not only within the environment around an underground excavation, i.e. at the locations where the pre-stressing is directly realised, but also in areas remote from the pre-stressing locations (the overburden), and effectively help in stabilising of the rock environment. A significant reduction of deformation of a rock environment can be achieved with its assistance, not only at the periphery of an underground excavation, but also at its overburden.
It has followed from many designed schemes of pre-stressing of the periphery of a rock environment around an underground excavation that the pre-stressing performed generally in a form of a conical plane is the most efficient.The results of other important factors, characterising the pre-stressing of the periphery of a rock environment around an underground excavation, e.g. the number of pre-stressing planes, mutual position of the pre-stressing planes at the excavation periphery, geometry of the conical plane, proportion of the pre-stressing length to the excavation vault's radius have been published in [5].

REFERENCES:

[1] Vojtasík,K.-Aldorf,J.-Hrubešová,E.-Ďurove,J.: Influence of Partial Pre-Stressing on Stability of Rock Environment around Excavation. Volume of papers of the International Conference "Geotechnics 99 - a basis of modern construction techniques", Ostrava 21 - 22 Sept. 1999, p. 121 - 123, ISBN 80-7078-702-3
[2] Vojtasík,K.-Aldorf,J.-Hrubešová, E.-Ďurove,J.: Stabilisation of heavily faulted and non-cohesive rock environment by the method of tangential pre-stressing by means of partial grouting and anchoring. Miedzynarodowa Konferencja "IV. Szkola Geomechaniki", Gliwice-Ustron 18 - 22 Oct. 1999, p. 19-25, ISBN 83-911515-0-6
[3] Hrubešová E., Aldorf ., Vojtasík K., Lahuta H., Ďurove J.: A paper on the issue of modelling groting operations in a fissured environment. Volume o papers of the 5th International Seminar "Stabilisation and sealing of grounds and building structures 2000". VŠB-TU Ostrava, 11/02/2000, ISBN 80-7078-754-6, p. 122-128
[4] Vojtasík K, Aldorf J., Hrubešová E., Lahuta H., Ďurove J.: A method of partial rock mass prestressing in the surrounding of the underground excavations as the means of its stability improvement. Volume of papers of the international symposium "Underground structures", Krakow, Poland, 25-27 Sept. 2000, ISBN 83-88408-16-X, p. 624-632
[5] final report of the grant project GAČR. 103/99/1495 "Research into methods of rock mass stabilisation by means of partial pre-stressing in the surrounding of underground excavations as the means of optimisation of the support loading". VŠB-TU Ostrava, December 2000
The paper was prepared with a support by MŠMT ČR (the Ministry of Education and Physical Education of the Czech Republic) in the framework of the research project CEZ No. J17/98271200003 "Research into selected issues of realisation of underground works and liquidation of mining works in complex natural conditions".

PŘEDPÍNÁNÍ KOTEV EFEKTIVNÍ ZABEZPEČOVÁNÍ TUNELŮ

STRESSING BOLTS AN EFFECTIVE REINFORCEMENT OF TUNNELS

RNDr. JOSEF MALÍK,CSc.,ÚSTAV GEONIKY AV ČR

1. ÚVOD

Při ražbě tunelů je velmi důležité zajistit jejich stabilitu, což obecně znamená minimalizovat posuny na stěnách tunelu a zejména stropu, které vznikají v důsledku postupující ražby. Tyto posuny jsou zapříčiněny existencí původního napětí v hornině. Je mnoho způsobů, jak toto zajistit, a obecně tyto posuny závisejí na způsobu otvírky tunelu (horizontální, vertikální) a současné instalaci výztuží, budování ostění, použití mikropilotů či injektáže. Konkrétní použití těchto metod je popsáno v [1], kde vliv těchto metod byl studován pomocí matematického modelování tunelu Mrázovka. Efektivnost všech těchto metod je závislá na provedení výše zmíněných úkonů pokud možno bezprostředně po odtěžení horniny v čele tunelu. V tomto článku se soustředíme na aplikaci kotevních výztuží. Efektivnost kotevní výztuže rovněž velmi závisí na umístění kotev bezprostředně za čelem tunelu. V tomto případě hovoříme o kotvách, které nejsou předpínány. Tyto kotvy se dostávají do reakce s okolní masivem po odtěžení dolní vrstvy horniny.

V mnoha případech bývá dosti obtížné z technologického hlediska instalovat kotvy bezprostředně za čelo tunelu. Je zde však ještě jiná metoda, která není závislá na takovémto přístupu. Touto metodou je předpínání kotev. Přesnější popis metody bude uveden níže. Tato metoda má své nesporné výhody, ale má i svá omezení. Zatímco při používání nepředepnutých kotev platí, že delší kotvy nepůsobí žádné obtíže, při použití předepnutých kotev může dojít k určité destabilizaci. Toto je závislé na geometrii tunelu a zejména na délce kotev a materiálových vlastnostech horniny. V případě izotropního homogenního prostředí tato limitní délka závisí pouze na Poissonově konstantě. I když aplikace delších nepředepnutých kotev nepůsobí žádné potíže, je z [5] patrno, že po přesáhnutí určité délky kotvy již tyto kotvy nijak neovlivňují napěťové a deformační pole v okolí tunelu a tedy ani stabilitu tohoto díla. Ve výše zmíněném článku autoři došli k závěru, že existuje jistá optimální délka kotev, kdy v důsledku existence původního napětí v masivu a kontaktu s masivem po odtěžení dochází k ovlivnění napěťového stavu v okolí důlního díla. Obecně platí, že je vhodnější použití většího počtu kotev optimální délky než používat delší kotvy při zachování množství materiálu použitého na kotvy.

2. ANALYTICKÉ ŘEŠENÍ POLE POSUNUTÍ A NAPĚTÍ PRO KRUHOVÝ TUNEL ZAJIŠTĚNÝ PŘEDEPNUTÝMI KOTVAMI

Naše posouzení optimální délky předepnutých kotev bude založeno na modelu kruhového tunelu v izotropní hornině, který je zajištěn kotvami. Tyto kotvy jsou vloženy do masivu v radiálním směru. Hustota těchto kotev je taková, že je možné tyto kotvy nahradit spojitým médiem. Situace kruhového tunelu je znázorněna na obrázcích 1a, 1b. Výše zmíněný homogenizovaný model kotevní výztuže je popsán v [4], více matematicky precizněji v [2, 3]. V tomto případě se budeme zabývat předepnutými kotvami, které jsou instalovány pomocí dvou pryskyřic. Celá situace je znázorněna na obrázku 2. Kotva je vložena do vrtu, který je zaplněn dvěma různými pryskyřicemi. První z nich je rychle tvrdnoucí a používá se k zalepení konce kotvy, který je vložen do horniny. Druhý konec, který vyčnívá ze stěny tunelu, je opatřen podložkou a maticí. Zbytek vrtu je naplněn druhou pryskyřicí, která tvrdne pomaleji. Proces instalace předepnutých kotev je možné popsat takto.

Vyvrtaný otvor se zaplní předepsaným způsobem dvěma odlišnými pryskyřicemi a vsune se kotva. Poté, co ztuhne první pryskyřice, pomocí matice předepneme kotvu. Po ztuhnutí druhé pryskyřice je systém ve funkčním stavu.

Poznamenejme, že z hlediska mechanického je přítomnost druhé pryskyřice nadbytečná. Je však potřebná pro fungování kotevního systému z dlouhodobého hlediska. Jestliže dojde k porušení horniny v okolí podložky, v případě, že není aplikována druhá pryskyřice, dochází k uvolnění kotvy a efekt předepnutí se ztrácí.

Model předložený v tomto článku je založen na předpokladu, že se jedná o dlouhý kruhový tunel, který je pravidelně zajištěn radiálně vloženými kotvami (obrázky 1a, 1b) a všechny kotvy jsou předepnuty stejným způsobem. Přičemž nás bude zajímat deformačně-napěťové pole indukované samotným předpětím.

1. INTRODUCTION

For tunneling, it is vital to secure the tunnel stability; in general this entails minimum displacements at tunnel walls and the tunnel roof above all, brought about by advancing excavation. These displacements are caused by existence of fundamental stress in rock. Many methods can be used to prevent these movements. In general, the displacements depend on the excavation sequencing (horizontal or vertical) and, in parallel, on reinforcement, installation of lining, application of micropiles or grouting. More detailed description of these methods can be found in [1], in which the author used mathematical modeling of the Mrázovka tunnel to analyze the effects of these methods. Efficiency of all the methods is based on the execution of the above-mentioned activities, preferably immediately after loading of muck at the tunnel face. This report focuses on application of anchor reinforcement. The anchor reinforcement can be effective especially when the anchors are placed directly behind the tunnel face. By anchors, in this case, we mean pre-stressed anchors. These anchors react with the adjacent rock massif after the lower layer of rock is excavated.

From the technological point of view, installation of anchors directly behind the tunnel face is mostly rather complicated. One method that is not conditioned by this technology is stressing of anchors. This method is in detail described further below. This method has its pros and cons. While the pre-stress-free anchors do not generally cause any problems, application of the pre-stressed anchors may bring a certain destabilization. This is mostly determined by the tunnel geometry, the length of anchors, and substance and nature of the rock. For isotropic homogeneous environment, the optimum length is calculated from the Poisson's constant. Although application of longer prestress-free anchors does not cause any difficulties, it is obvious (see [5]) that if a certain length of an anchor is exceeded, such anchors do not influence the stress and strain field around the tunnel, nor the stability of the construction. The authors of the above mentioned article came to a conclusion that the optimum length of an anchor is applied when - resulting from the existence of an elementary stress in the massif and on the contact with the massif after excavation - the state of stress in the mining works gets affected. Generally, installing a larger number of optimum-length anchors is more effective than using longer anchors, while maintaining the same amount of material used up on anchors.

2. ANALYTICAL SOLUTION OF THE DISPLACEMENT AND STRESS FIELDS FOR A CIRCULAR TUNNEL SUPPORTED BY PRE-STRESSED ANCHORS

Our assessment of an optimum length of pre-stressed anchors will be based on a model of a circular tunnel in isotropic rock reinforced by anchors. These anchors are placed into the rock mass in radial direction. The density of the anchors is such that the anchors may be replaced by a continuous medium. The position of the circular tunnel is presented in the Fig. 1a, 1b. The above-mentioned homogenous anchoring model is described in [4], and in more precise mathematical description in [2,3]. In our case, we will deal with stressed anchors fitted in with an aid of two kinds of resin. The overall position is depicted in the Fig. 2. An anchor is inserted into a borehole that is filled with two kinds of resin. The first one is fast hardening and is used for fixing of the anchor end that is inserted into the rock. The other end pointing out of the tunnel wall is equipped with a washer and a nut. The rest of the borehole is filled with the second resin that hardens slowly.

The process of installing the stressed anchors can be described this way: The borehole is filled - as prescribed - with two kinds of resin and the anchor is inserted. When the primary resin has set, we stress the anchor with the aid of a nut. After setting of the second resin the system is ready.

Let us note here that from the mechanical point of view the second resin is not essential. It is however necessary for long-lasting functioning of the anchoring. In case the rock breaks at the base, unless the second resin had been applied, the anchor loosens and the stressing effect declines.

The model presented in this article is based on an assumption that we deal with a long circular tunnel that is regularly being equipped with radial anchors (Fig. 1a, 1b), and all anchors are uniformly pre-stressed. What is the

Celkové deformačně-napěťové pole je v tomto případě součtem výše zmíněného pole a pole vytvořeného původním napětím po vyražení tunelu. Jak bylo zmíněno výše, náš model se opírá o jisté homogenizační postupy - rozpracovány v [2,3]. V našem případě přijmeme tyto hypotézy:
- Horninu, ve které je tunel vyražen, považujeme za lineárně-izotropní materiál.
- Chování kotev vystavených předpětí je rovněž lineární.
- Celkový objem vrtů, do kterých jsou vloženy kotvy, je malý ve srovnání s objemem horniny zajištěné kotvami.
- Kotvy jsou rozmístěny dostatečně hustě tak, aby mohly být homogenizovány.
- Vliv pryskyřic se zanedbává.

Za těchto předpokladů můžeme použít homogenizační procedury popsané v článcích zmíněných výše a mohou být sestaveny rovnice rovnováhy, které jsou pro kruhový tunel analyticky řešitelné. Matematický model je znázorněn na obrázcích 3a, 3b. Obrázek 3a odpovídá reálné situaci a obrázek 3b koresponduje s homogenizovaným modelem. Symboly na obrázku odpovídají veličinám:

Ω_1 hornina v okolí tunelu,
Ω_2 hornina zesílena kotevní výztuží,
S_1 stěna tunelu,
S_2 válcová plocha tvořená konci kotev (v našem případě jsou kotvy homogenizovány),
r_1 poloměr tunelu
r_2 poloměr válcové plochy S_2.

Nebudeme se zabývat samotným výpočtem, který je podrobně vyložen v [6], a shrneme základní vzorce pro deformační a napěťové pole generované předepnutím. Výsledky jsou znázorněny v polárních souřadnicích r, φ (poloměr, úhel).
Pole posunutí je dáno jedinou funkcí $u(r)$, která znázorňuje posunutí v radiálním směru v závislosti na r - vzdálenost od středu tunelu.

$$u(r) = -\frac{4\pi Kl\mu}{r_1 H}\cdot r + \frac{4\pi Kl((\mu+\lambda)(r_2-r_1)+\mu r_2)}{H}\cdot\frac{1}{r}$$

na intervalu (r_1, r_2),

$$u(r) = \frac{4\pi Kl}{H}\left(\mu r_2\left(1-\frac{r_2}{r_1}\right)+(\mu+\lambda)(r_2-r_1)\right)\cdot\frac{1}{r}$$

na intervalu (r_2, ∞),, kde

$$H = 4\pi K\left\{(\lambda+\mu)(r_1-r_2)\left(\frac{1}{r_2}-\frac{1}{r_1}\right)+2\mu\frac{(r_2-r_1)}{r_1}\right\}+16\pi^2(\lambda+2\mu)\mu\frac{r_2}{r_1}.$$

Konstanty v těchto vzorcích mají následující význam:

λ,μ jsou Lamého konstanty, l je délka závitu, o kterou je utažena každá matice při předpínání, a K charakterizuje tuhost

$K = \frac{N\cdot E_b\cdot A}{(r_2-r_1)d}$,kde λ je počet kotev v jednom příčném řezu (obrázek 1a), d je vzdálenost mezi sousedními vrstvami kotev (obrázek 1b), E_b je Youngův

most important part for us is the stress-strain field induced by the pre-stress itself.
The entire stress-strain field, in this case, is an aggregate of the above mentioned strain field and the field induced by the fundamental stress in rock, after the tunnel excavation. Once again - our model is based on certain homogeneous processes that are described in detail in [2,3]. For our study, we will use the following hypothesis:

- *The rock in which the tunnel is being excavated is assumed to be a linearly isotropic substance.*
- *The anchors under stress also work linearly.*
- *The overall number of boreholes for placing the anchors is low in comparison with the volume of rock reinforced by the anchors.*
- *The anchors are laid out with a sufficient density so that they may get homogenized.*
- *The effect of resin is not considered.*

On these assumptions we are able to exercise the homogenizing procedures explained in the above articles, and equilibrium equations soluble analytically for a circular tunnel may be developed. The mathematical model is depicted in Fig. 3a, 3b. Fig. 3a corresponds with the actual state, 3b corresponds with the homogeneous model. Symbols in the pictures represent:

Ω_1 *rock surrounding the tunnel*
Ω_2 *rock reinforced by anchors*
S_1 *tunnel side wall*
S_2 *cylindrical plane created by anchor endings (in our case the anchors are homogenized)*
r_1 *tunnel radius*
r_2 *cylindrical plane radius*
We shall dismiss the calculation (that is explained in [6]) and will continue with the basic formula for a stress-strain field generated by the pre-stress. The results are presented in polar coordinates r, φ (radius, angle).
The displacement field is represented by one function u(r), that illustrates the displacement in radial direction in dependence on r - distance from the tunnel center.

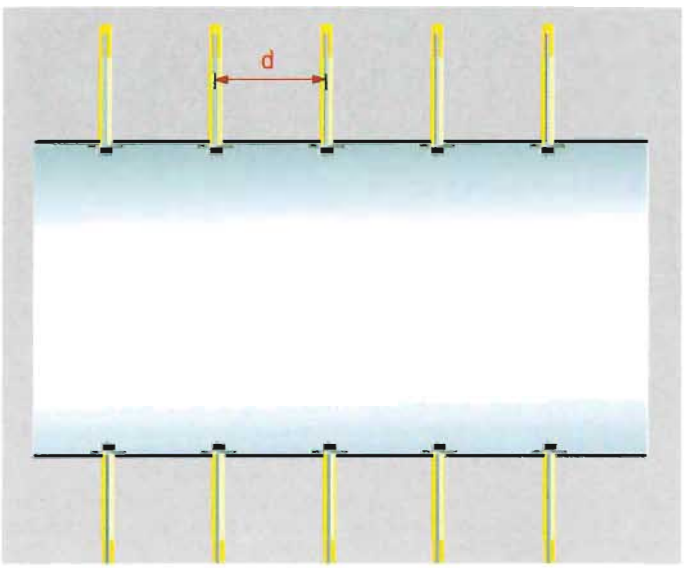
$$u(r) = -\frac{4\pi Kl\mu}{r_1 H}\cdot r + \frac{4\pi Kl((\mu+\lambda)(r_2-r_1)+\mu r_2)}{H}\cdot\frac{1}{r}$$

within interval (r_1, r_2),

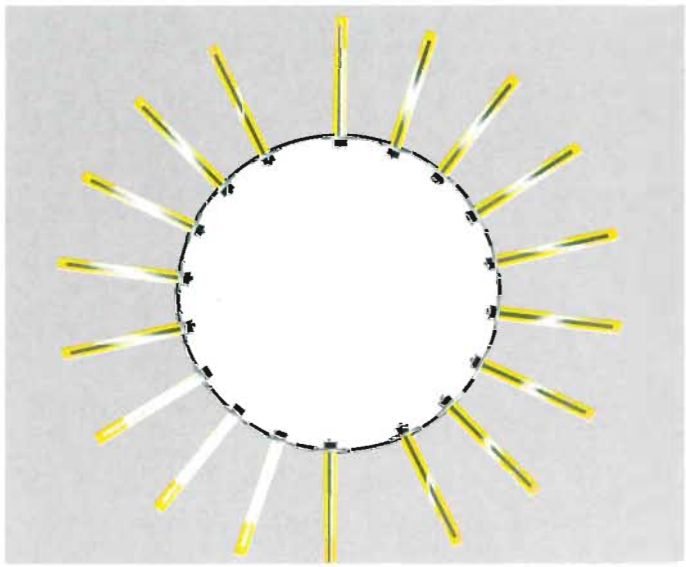
$$u(r) = \frac{4\pi Kl}{H}\left(\mu r_2\left(1-\frac{r_2}{r_1}\right)+(\mu+\lambda)(r_2-r_1)\right)\cdot\frac{1}{r}$$

within interval (r_2, ∞), *where*

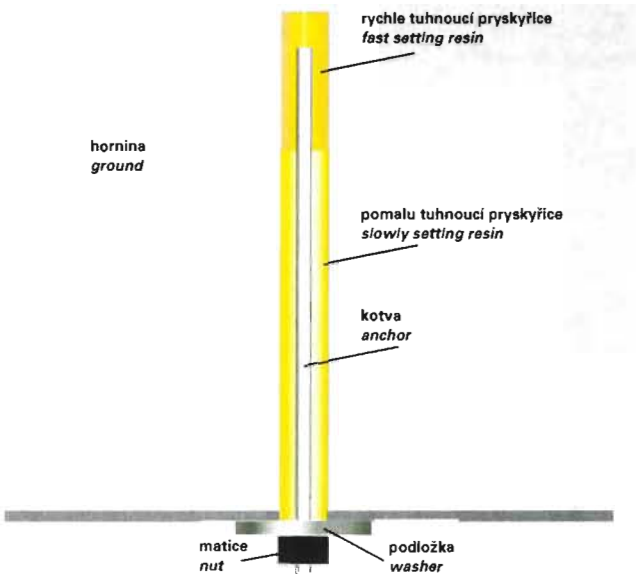
$$H = 4\pi K\left\{(\lambda+\mu)(r_1-r_2)\left(\frac{1}{r_2}-\frac{1}{r_1}\right)+2\mu\frac{(r_2-r_1)}{r_1}\right\}+16\pi^2(\lambda+2\mu)\mu\frac{r_2}{r_1}.$$



Obr. 1a Podélný řez kruhového tunelu s předepnutými kotvami
Fig. 1a Longitudinal section through a tunel with pre-tensioned anchors



Obr. 1b Příčný řez kruhového tunelu s předepnutými kotvami
Fig. 1a Cross section through a tunel with pre-tensioned anchors



Obr. 2 Instalace předepnuté kotvy
Fig. 2 Instalation of a pre-stressed anchor

modul pružnosti oceli, ze kterého je vyrobena kotva, A je plocha příčného řezu jedné kotvy. Koeficienty r_1, r_2, byly popsány výše.
Z výše uvedených vzorců pro posunutí lze snadno získat vzorce pro napěťová pole v okolí kruhového tunelu.

$$\tau_{rr}(r) = -\frac{8\pi Kl\mu(\mu+\lambda)}{r_1 H} - \frac{8\pi Kl}{H}\left(\mu^2 r_2 + \mu(\mu+\lambda)(r_2 - r_1)\right)\cdot\frac{1}{r^2}$$

na intervalu (r_1, r_2),

$$\tau_{rr}(r) = -\frac{8\pi Kl}{H}\left(\mu^2 r_2(1-\frac{r_2}{r_1}) + \mu(\mu+\lambda)(r_2 - r_1)\right)\cdot\frac{1}{r^2}$$

na intervalu (r_2, ∞),

$$\tau_{\varphi\varphi}(r) = -\frac{8\pi Kl\mu(\mu+\lambda)}{r_1 H} + \frac{8\pi Kl}{H}\left(\mu^2 r_2 + \mu(\mu+\lambda)(r_2 - r_1)\right)\cdot\frac{1}{r^2}$$

na intervalu (r_1, r_2),

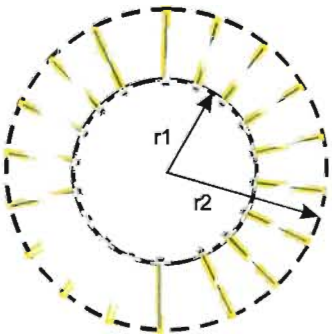
$$\tau_{\varphi\varphi}(r) = \frac{8\pi Kl}{H}\left(\mu^2 r_2(1-\frac{r_2}{r_1}) + \mu(\mu+\lambda)(r_2 - r_1)\right)\cdot\frac{1}{r^2}$$

na intervalu (r_2, ∞),

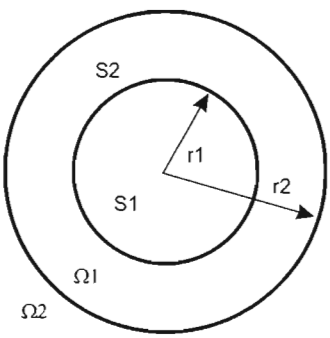
$$\tau_{\varphi r}(r) = 0$$

na intervalu (r_1, ∞),

Formule uvedené výše popisují pole posunutí a napětí ve vnějšku kruhového tunelu a vzorce se liší na intervalu (r_1, r_2), který odpovídá horninovému tubusu zajištěnému předepnutými kotvami, a intervalu (r_1, ∞), který koresponduje se zbytkem horninového masivu. Vzorce pro napětí odpovídají hodnotám v masivu a po jejich analýze je zřejmé, že dochází k nespojitosti napěťového pole na ploše S_2 - válcová plocha o poloměru r_2. Tato plocha koresponduje s konci kotev upevněných v horninovém masivu.



Obr. 3a Model kruhového tunelu s předepnutými kotvami
Fig. 3a Model of a circular tunnel with pre-tensioned anchors



Obr. 3b Homogenizovaný model kruhového tunelu
Fig. 3b Homogenised model of a circular field

The meaning of these constants is as follows:

λ,μ , are Lamé's constants, l is the length of the thread by which every nut is tightened during pre-stressing, K stands for rigidity.

$K = \frac{N \cdot E_b \cdot A}{(r_2 - r_1)d}$, *where λ represents the number of anchors in one cross section (Fig. 1a), d stands for the distance between neighboring layers of anchors (Fig. 1b), E_b is Young's modulus of elasticity of steel that the anchor is made of, A is the cross section area of one anchor. Coefficients r_1, r_2, are described above.*
From these formulas for calculation of displacements we can easily derive formulas for stress fields in the circular tunnel surroundings.

$$\tau_{rr}(r) = -\frac{8\pi Kl\mu(\mu+\lambda)}{r_1 H} - \frac{8\pi Kl}{H}\left(\mu^2 r_2 + \mu(\mu+\lambda)(r_2 - r_1)\right)\cdot\frac{1}{r^2}$$

within interval (r_1, r_2),

$$\tau_{rr}(r) = -\frac{8\pi Kl}{H}\left(\mu^2 r_2(1-\frac{r_2}{r_1}) + \mu(\mu+\lambda)(r_2 - r_1)\right)\cdot\frac{1}{r^2}$$

within interval (r_2, ∞),

$$\tau_{\varphi\varphi}(r) = -\frac{8\pi Kl\mu(\mu+\lambda)}{r_1 H} + \frac{8\pi Kl}{H}\left(\mu^2 r_2 + \mu(\mu+\lambda)(r_2 - r_1)\right)\cdot\frac{1}{r^2}$$

within interval (r_1, r_2),

$$\tau_{\varphi\varphi}(r) = \frac{8\pi Kl}{H}\left(\mu^2 r_2(1-\frac{r_2}{r_1}) + \mu(\mu+\lambda)(r_2 - r_1)\right)\cdot\frac{1}{r^2}$$

within interval (r_2, ∞),

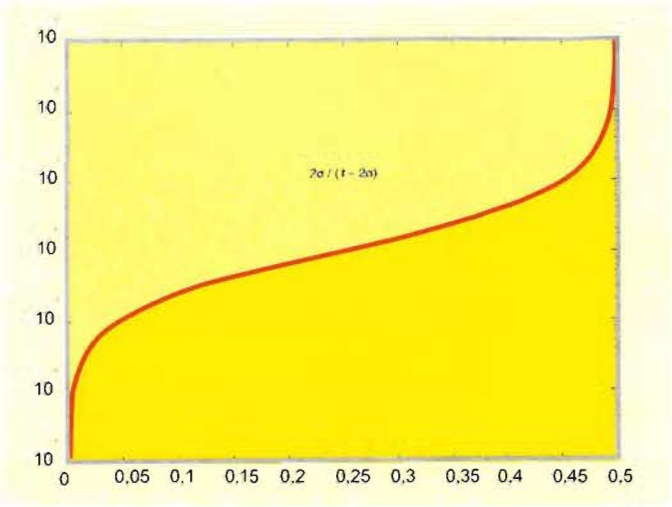
$$\tau_{\varphi r}(r) = 0$$

within interval (r_1, ∞),

The formulas shown above describe the displacement and stress fields outside the circular tunnel, and they are different within interval (r_1, r_2), that represents a rock tube reinforced by stressed anchors, and the interval (r_1, ∞), representing the rest of the rock mass. The formulas for stress correspond with the values in massif; when we scrutinize them we see that a discontinuity of the stress field on the plane S_2 occurs - the cylindrical plane at the radius r_2. This plane corresponds with the anchor endings fastened to the rock mass.

3. AN OPTIMUM LENGTH OF ANCHORS

When analyzing formulas for displacement and strain presented in the earlier section we get a surprising result. A value r_2 exists for the values r_1, μ, λ, K, l such that the displacement field equals zero on a plane of the radius r_2. Given that $r_2 - r_1$ equals the length of anchors we can declare that a certain length of anchors exists where the displacement field and the stress field have specific dispositions.
Let us set the criterion for the optimum length of the anchors.



Obr. 4 Závislost optimální délky přepnutých kotev na Poissonově konstantě pro případ kruhového tunelu jednotkového poměru v homogenímizotopním prostředí
Fig. 4 Dependence of an optimal lenght of pre-tensioned anchorson Position's ratio, for an event of a unit diameter, in a homogenous isotropic environment

3. OPTIMÁLNÍ DÉLKA KOTEV

Pokud analyzujeme vzorce pro posunutí a napětí uvedené v předcházející kapitole, dojdeme k jednomu překvapivému výsledku. Pro dané hodnoty r_1,μ,λ,K,I existuje hodnota r_2 taková, že pole posunutí je nulové na ploše o poloměru r_2. Vzhledem k tomu, že $r_2 - r_1$ odpovídá délce kotev, můžeme říci, že existuje určitá speciální délka kotev, kdy pole posunutí a napětí mají určité speciální vlastnosti. Zformulujme si kritérium optimality délky kotev.

Kritérium: Délka kotev je optimální, jestliže při jejich předpínání nedochází k posunu na ploše, která je tvořena konci kotev upevněných v masivu.
Toto kritérium se matematicky dá vyjádřit rovnicí $u(r_2)=0$. Když řešíme tuto rovnici pomocí vyjádření pro posunutí z předcházející kapitoly, získáme jednoduchý vztah

$$r_2 - r_1 = r_1\frac{\lambda}{\mu} = r_1\frac{2\sigma}{1-2\sigma}$$

kde $r_2 - r_1$ reprezentuje optimální délku kotev a σ je Poissonovo číslo horninového masivu. Povšimněme si zajímavé skutečnosti, že optimální délka závisí pouze na poloměru kruhového tunelu a σ. Je tedy nezávislá na E - Youngově modulu masivu a velikosti předpětí kotev. Je třeba uvážit, že tento výsledek je založen na homogenizovaném ideálním modelu. Závislost optimální délky na σ je znázorněna graficky na obrázku 4.

Pro optimalitu definovanou takovýmto způsobem hovoří skutečnost, že při této délce kotev, je veškerá energie vzniklá z předepnutí koncentrována v tubusu tvořeném kotevní výztuží. Masiv za tímto tubusem zůstává neovlivněn procesem předpínání. Je zde ještě jedna zajímavá skutečnost související s napětím, což lze získat analýzou vzorců pro napěťové pole. Jestliže jsou kotvy kratší, než je optimální délka, napěťové pole generované předpětím obsahuje tlaky v radiálním směru za plochou S_2 o poloměru r_2. Můžeme tedy říci, že předepnutý prstenec zajištěný kotvami tlačí na okolní masiv. Jestliže jsou kotvy delší, než je optimální délka, předpětí generuje tahy v radiálním směru za plochou S_2. Tedy předepnutý prstenec přitahuje okolní masiv. Z tohoto je zřejmé, že u předepnutých kotev je situace zcela jiná než u obyčejných pasivních kotev. Jestliže použijeme delší kotvy, než je optimální délka, generujeme v masivu tahová napětí, což může vést k porušení. Z hlediska aplikace předepnutých kotev je tedy třeba volit kotvy optimální délky nebo kratší. Takto máme zaručeno, že při předpínání nevzniknou tahová napětí.

4. NUMERICKÉ PŘÍKLADY

Formule pro optimální předepnutí kotev byla získána analyticky při určité idealizaci, která byla vyložena v předpokladech. Tato formule platí pro případ kruhového tunelu rovnoměrně zpevněného předepnutými kotvami orientovanými v radiálním směru. Takovéto tunely se vyskytují v praxi poměrně hojně, je však otázkou, zda se tato formule dá použít i pro tunely jiného tvaru. Na obrázcích 5 až 7 je znázorněn nekruhový tunel, který je v horní části zajištěn dvaceti ocelovými kotvami o průměru 3 cm. Ve své horní části se tento tunel podobá kruhovému. Oblasti znázorněné na obrázcích již korespondují s homogenizovanou výztuží. Oblast charakterizující tuto homogenizovanou výztuž je rozdělena na dvě části. Horní část odpovídá částem kotev, které jsou upevněny pomocí rychle tuhnoucí pryskyřice a dolní část odpovídá těm částem kotev, které jsou po zatuhnutí první pryskyřice předepnuty. Obrázky 5 až 7 odpovídají situaci, kdy tunel byl vyhlouben v izotropní hornině s hodnotami σ rovnými 0,25, 0,20, 0,30. Délka kotev je stanovena tak , aby byla optimální pro hodnotu σ rovnou 0,25, což odpovídá obrázku 5.
V případě obrázku 6 je optimální délka kratší a v případě obrázku 7 naopak delší. Na sérii obrázků 5 až 7 je dobře viditelný efekt, který byl předpovězen v předcházejícím odstavci. Přestože tunel není kruhový, je možné tuto formuli použít. Na obrázku 5, který odpovídá optimální délce, je patrné, že hornina za oblastí vyztuženou kotvami zůstává neovlivněna po předepnutí kotev. Na obrázku 6, kdy délka kotev pro tuto hodnotu σ je větší než optimální, je zřejmé, že vyztužená oblast po předepnutí přitahuje okolní horninu. Na obrázku 7 vyztužená oblast naopak tlačí na okolní horninu, což koresponduje dobře se skutečností, že délka kotev je kratší než optimální. Výpočty byly provedeny programem GEM22, který je založen na metodě konečných prvků. Do tohoto programu byly vloženy procedury popisující homogenizované kotevní systémy. Tento program byl vyvinut na ÚGN AV ČR Ostrava.

Formule pro optimální délku byla testována numericky pro případy tunelu, který je v horní části kruhový a v této části je vyztužen předepnutými kotvami. Zdá se, že pro případy, které jsou blízké kruhovému tunelu, lze tuto formulaci využít. Autor testoval možnosti použití této formule v jiných případech, výsledky však nebyly tak uspokojivé.

Z výše zmíněného vyplývá, že nejhorší situace nastává, když kotvy přesáhnou určitou délku a mohou po předepnutí vytvářet v hornině tahy. Pro praktické účely je třeba volit kotvy optimální délky, či kratší. V praxi je případ

Criterion: The length of the anchors is optimal when no displacement occurs along a plane formed by the anchor endings fastened in the rock mass in the course of their stressing.

This Criterion can be expressed by a mathematical equation $u(r_2)=0$. Resolving this equation through the formula for displacement mentioned in the previous section, we end up with an easy relation

$$r_2 - r_1 = r_1\frac{\lambda}{\mu} = r_1\frac{2\sigma}{1-2\sigma}$$

where $r_2 - r_1$ represents an optimum length of anchors and σ is Poison's ratio of the rock mass. Take notice of the exciting fact that the optimum length depends only on the radius of the circular tunnel and σ. So, it is independent of E - Young's modulus of the massif and the value of anchor stressing. We have to take into account that this result is based on an ideal homogeneous model. The figure 4 depicts how an optimum length depends on σ.

The fact that, at this anchor length, all energy arisen from pre-stressing is concentrated in the tube formed by anchors speaks in favor of the optimality defined in such the way. The massif behind this tube stays unaffected by the process of pre-stressing. Another remarkable fact connected with the stress can be identified by analyzing the formulas for the stress field. In case these anchors are shorter than the optimum length, the stress field generated by pre-stressing contains radial pressures behind the plane S_2, at the radius r_2. We can assume that a pre-stressed ring stabilized by anchors pushes on the adjacent massif. When the anchors are longer than the optimum length, the pre-stress generates draws in the radial direction towards the plane S_2. In that case the pre-stressed coil draws the adjacent massif. This shows that pre-stressed anchors work in a different way to the ordinary passive anchors. Using longer anchors than the optimum length creates tensile stresses in massif, which may lead to fracturing. When applying stressed anchors it is necessary to opt for anchors of an optimum length or shorter. This will ensure that no tensile stresses occur during pre-stressing.

4. NUMERIC EXAMPLES

The formula for optimal anchor pre-stressing was derived analytically, at a certain idealization based on presumptions. This formula is applicable for circular tunnels uniformly reinforced by stressed anchors pointed in radial direction. These tunnels are rather common. However, this formula may also be used for tunnels of other profiles. Pictures 5-7 show a non-circular tunnel that is at the upper part reinforced by twenty steel anchors 3 cm in diameter. At its upper part this tunnel is identical with a circular tunnel. The parts shown in the picture correspond with homogeneous reinforcement. The part illustrating this homogeneous reinforcement is split to two parts. The upper part responds to those parts of anchors that are connected by fast setting resin, the bottom part responds to the parts that are pre-stressed after hardening of the primary resin. Pictures 5-7 illustrate a situation in which a tunnel was excavated in an isotropic rock of the values σ equaling 0.25, 0.20, 0.30. The length of anchors is determined to be optimal for the value σ equaling 0.25 (illustrated on the picture 5).
On the picture 6, the optimum length is shorter, as opposed to the longer one on picture 7. On the series of pictures 5-7 you may notice the effect predicted in the previous section of this article. The formula can be used even though the tunnel is not circular. The picture 5 depicting the optimum length proves that the rock massif behind the reinforced area stays unaffected, after stressing the anchors. The picture 6, on which the length of anchors for the value σ is larger than optimum, shows that the reinforced area after pre-stressing draws the adjacent rock massif. On the picture 7 you can see that the reinforced area presses on the surrounding rock, which corresponds with the fact that the anchors are shorter than the optimum length should be. The calculations were executed by GEM22 software that works on the basis of the Finite Element Method. This software comprises of the procedures relating to homogeneous anchoring. This software was developed by UGN AV CR Ostrava.

As a study case for the formula of an optimum length was used a tunnel with a reinforced circular upper part. It gives us an impression that for tunnels of shapes similar to the circular tunnels this formula can be used as well. The author tested the formula on other cases but the results were not satisfactory.

The above described facts show that the worst situation may occur when the length of an anchor is exceeded to the extent that it creates tensile stresses in the rock. For practical reasons it is advised to use anchors of an optimum length, or shorter. In reality, we rarely see a homogeneous isotropic environment. Most of the rock is anisotropic and it is just a matter of time to find out how to assess the optimum length here. There is a possibility to use numeric modeling in a way that, for the given rock and a tunnel profile, we select such a length of an anchor where no undesired deformations occur. This means that the area reinforced by stressed anchors would not draw the adjacent rock massif.

homogenního izotropního prostředí řídký. Horniny jsou většinou anizotropní a je otázka, jak takovou situaci řešit. Naskýtá se možnost použít pro určení optimální délky numerické modelování, a to tímto způsobem. Pro danou horninu a tvar tunelu zvolit takovou délku kotev, kdy po předepnutí nedochází k nežádoucím deformacím. To znamená, že oblast vyztužená předepnutými kotvami nepřitahuje okolní horninu.
Jestliže geologická situace v okolí tunelu je relativně neměnná a k zajištění tunelu se používají předepnuté kotvy, je možno pomocí numerického modelování stanovit délku kotev, které jsou ve výše uvedeném smyslu optimální.

5. ZÁVĚRY

V tomto článku jsme se zabývali vlivy předepnutých kotev na horninu a výsledky je možné shrnout do následujících bodů:
1. Bylo stanoveno kritérium pro optimální délku předepnutých kotev.
2. Pro případ kruhového tunelu rovnoměrně radiálně zajištěného kotvami a umístěného v izotropní hornině byla stanovena explicitní formule udávající optimální délku.
3. Platnost této formule byla testována na tunelech podobných kruhovému.
4. Byl navržen postup, jak stanovit optimální délku kotev v případě tunelů obecného tvaru v anizotropních horninách. Postup se opírá o numerické modelování.

Popsané řešení bylo vytvořeno s podporou grantu č. 105/99/1651 GA ČR.

LITERATURA:

[1] Barták, Matouš: Modelování vlivu podpůrných technologických opatření na redukci deformace tunelového nadloží. Tunel, roč.10, 2/2001, 14-23.
[2] Malík: Mathematical modelling of rock bolt systems I, Appl. Math. 43(1998), 413-438
[3] Malík: Mathematical modelling of rock bolt systems II, Appl. Math. 45(2000), 177-203.
[4] Malík, Šňupárek: Matematické modelování svorníkové výztuže. Tunel, roč. 27, 3/96, 15-18.
[5] Malík, Šňupárek: The influence of Number and Length of Rockbolts on the Stress State in Reinforced Rock Mass. Proceedings of the 3th Aachen International Mining Symposia, RWTH Aachen, June 1998, 657-662.
[6] Malík: Optimal length of stressed bolts. Proceedings of the 4th Aachen International Mining Symposia, RWTH Aachen, 6.-7. June 2001, 579-595.

Provided the geological situation in the tunnel surroundings is relatively stable and the tunnel reinforced by pre-stressed anchors, numerical modeling can be used for defining the optimum length of anchors.

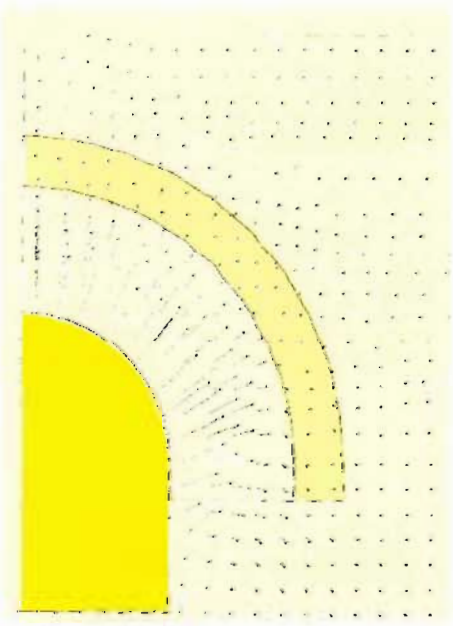
5. CONCLUSION

In this article we discussed influences of pre-stressed anchors on the rock, and the results may be summed up in the following points:
1. Criterion for an optimum length of pre-stressed anchors has been defined.
2. An explicit formula for an optimum length was established for a circular tunnel situated in an isotropic rock, uniformly supported with anchors in a radial direction.
3. Applicability of this formula was tested on tunnels resembling circular ones.
4. We established a method for calculating an optimum length of anchors for tunnels of a regular shape in isotropic rock. The method is based on numerical modeling.

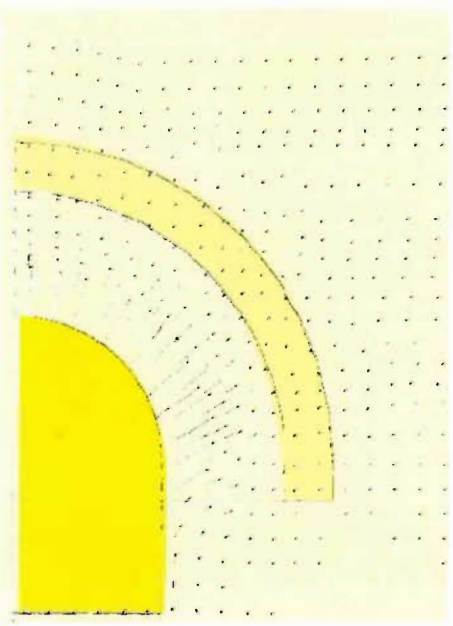
The above-described solutions were supported by the grants no. 105/99/1651, provided by GA CR.

LITERATURE

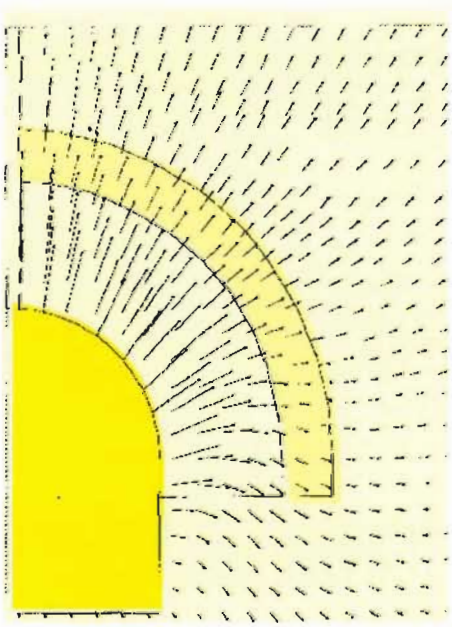
[1] Barták, Matouš: Modelování vlivu podpůrných technologických opatření na redukci deformace tunelového nadloží. Tunel, roč.10, 2/2001, 14-23.
[2] Malík: Mathematical modelling of rock bolt systems I, Appl. Math. 43(1998), 413-438
[3] Malík: Mathematical modelling of rock bolt systems II, Appl. Math. 45(2000), 177-203.
[4] Malík, Šňupárek: Matematické modelování svorníkové výztuže. Tunel, roč. 27, 3/96, 15-18.
[5] Malík, Šňupárek: The influence of Number and Length of Rockbolts on the Stress State in Reinforced Rock Mass. Proceedings of the 3th Aachen International Mining Symposia, RWTH Aachen, June 1998, 657-662.
[6] Malík: Optimal length of stressed bolts. Proceedings of the 4th Aachen International Mining Symposia, RWTH Aachen, 6.-7. June 2001, 579-595.



Obr. 5 Pole posunutí indukované přepnutím kotev v případě optimální délky
Fig. 5 Displacement field induced by pre-tensioning of anchors in a case of the lengh being optimal



Obr. 6 Pole posunutí indukované přepnutím kotev v případě, kdy délka kotev je delší než optimální
Fig. 6 Displacement field induced by pre-tensioning of anchors in a case of the lengh being longer than optimal



Obr. 7 Pole posunutí indukované přepnutím kotev v případě, kdy délka kotev je kratší než optimální
Fig. 7 Displacement field induced by pre-tensioning of anchors in a case of the lengh being shorter than optimal

POUŽITÍ SILIKÁTOVÝCH HMOT PRO ZPEVŇOVÁNÍ NESOUDRŽNÝCH ZEMIN PŘI RAŽENÍ PODZEMNÍCH DĚL

APPLICATION OF SILICATE MATERIALS FOR IMPROVEMENT OF INCOHESIVE SOILS AT UNDERGROUND EXCAVATION

ING. RUDOLF ZIEGLER, CARBOTECH BOHEMIA, s. r. o.
PROF. ING. JOSEF ALDORF, DrSc. - KATEDRA GEOTECHNIKY A PODZEMNÍHO STAVITELSTVÍ VŠB-TU OSTRAVA
MGR. ING. JAN BIERUT, TRIOCHEM, S. C., KATOWICE, POLSKO

ÚVOD

Při ražbě podzemních děl (tunelů, kolektorů apod.) v nesoudržných zeminách se standardně přistupuje ke zlepšení geotechnických vlastností horninového prostředí v okolí raženého díla. V současnosti se nejčastěji používá metoda tryskové injektáže. Realizace injektážního ochranného deštníku pomocí hmot na bázi silikátů je jednou z dalších metod ke zlepšování geotechnických vlastností horninového nebo zeminového prostředí. Silikátová injektážní hmota na bázi vodního skla (gelu kyseliny křemičité) je dvousložková, směšovaná v poměru komponent 1 : 1. Při injektáži - penetraci do okolního prostředí, dojde k vyplnění pórů, mezer a puklin v hornině injektážní směsí. Chemická reakce způsobí vytvrdnutí injektážní hmoty a vytvoření geokompozitu. Dosažená pevnost geokompozitu (min. 1,5 MPa) je plně dostačující pro zabezpečení výlomu díla s výškou nadloží do asi 14 - 15 metrů. Tento stabilizační geokompozitní prvek realizovaný po obvodu kaloty slouží jako ochranný deštník v předpolí pro zajištění bezpečnosti ražby a celkové stability díla.

Tento způsob zajišťování předpolí raženého díla je ve velkém rozsahu a dlouhodobě realizován na stavbě tunelu varšavského metra firmou PeBeKa Lubin, oddíl stavby metra ve Varšavě. Od roku 1998 až do současnosti firma standardně používá silikátové materiály k preventivnímu zajištění stropu a boků raženého tunelu. Vhodné zajištění výrubu se projevuje ve zvýšeném postupu prací souvisejících se stavbou tunelu ve velmi těžkých geologických podmínkách. Tunel varšavského metra je ražen v třetihorních a čtvrtohorních útvarech, které jsou tvořeny zvodnělými písky, štěrky, hlínami a také různými navážkami.

Délka jednotlivých vývrtů dosahovala 3 metry a osová vzdálenost 0,5 metru. Spotřeba injektážních hmot činila asi 120 litrů směsi na jeden vývrt. Tímto způsobem byla zcela zajištěna stabilita nadloží a bezpečnost pracovníků při ražbě.

V České republice byl způsob zajišťování předpolí raženého díla pomocí silikátových injektážních hmot ověřen při ražbě kanalizačního sběrače v Děčíně - viz foto, o záležitosti referoval článek autorů [1.].

ZÁKLADNÍ ÚDAJE

V průběhu roku 2000 prováděla firma EREBOS Malé Svatoňovice ražbu kanalizačního sběrače pro čisticí stanicí odpadních vod ve městě Děčíně. Jednalo se o ražby v písečných naplaveninách řeky Labe, převážně velmi jemné zrnitosti. Závažným a negativně působícím jevem při provádění ražby kanalizačního sběrače bylo proměnlivé zvodnění těchto písečných naplavenin, které souviselo se stavem vodní hladiny v Labi.

Ražba kanalizačního sběrače byla prováděna ručně s pomocí přehazovacího nakladače, dílo bylo zajišťováno hnaným pažením z dřevěných fošen a následně vyztužováno TH výztuží, jejíž rozměry byly upraveny podle profilu raženého díla. Čelba ražby byla zajišťována tzv. čílkem vytvořeným z části larsenové štětovnice, připevněným na 4 jehlách - hřebících z armovacího materiálu - viz foto. Čílko bylo vždy po vypuštění určitého množství písku z čelby zaháněno do předpolí ražby, aby v co možná nejvyšší míře zabraňovalo vysypávání dalšího písku. Přestože pažení z dřevěných fošen bylo prováděno zaháněním, docházelo k vysypávání písku do prostoru vyraženého díla a tím k uvolňování nadloží až na povrch. Vzhledem k tomu, že na povrchu se nacházela slínová vrstva o mocnosti asi 60 cm, docházelo k jejímu prolamování a ke vzniku průvalu v závislosti na povětrnostních podmínkách, zpravidla pak po větších dešťových srážkách. Tento jev byl velmi zákeřný zejména proto, že ražba štoly probíhala v některých úsecích pod místní komunikací a zástavbou. Situace je zřejmá z obrázku 1., na kterém je vyznačena trasa ražby kanalizačního sběrače, místní komunikace a situace zástavby.

ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY ZPEVŇOVÁNÍ NESOUDRŽNÝCH ZEMIN

Pro zlepšení geotechnických vlastností horninového prostředí bylo v průběhu ražby použito několik technologií. Byla aplikována trysková injektáž [1.], dále byla pro zpevnění písků použita polyuretanová pryskyřice typu Bevedan - Bevedol WF s tím, že bylo provedeno nejen zpevnění písků pro zajištění další ražby, ale současně byly vyplněny vzniklé volné prostory nad

INTRODUCTION

Improvement of geotechnical properties of rock environment surrounding a mined works is a standard process applied in underground excavation (tunnels, utility ducts etc.). At present, the most often used method is jet grouting. Creation of a protective umbrella by injecting silicate-based materials is one of other methods how to improve geotechnical properties of rock or soil environment. Silicate grout based on water glass (silicic acid gel) is a two-component matter mixed in a 1 : 1 ratio of the components. During grouting, i.e. penetration into the surrounding environment, pores, voids and fissures existing in the rock are filled with the grout. A chemical reaction causes hardening of the grout and creation of a geocomposite. The geocomposite strength achieved (min. 1,5 MPa) is fully satisfactory for support of an underground opening with an overburden height up to about 14 - 15 metres. This stabilising geocomposite element formed along the perimeter of tunnel crown serves as a protective umbrella, ensuring safety within a front zone and overall stability of the works.

This way of stabilisation of a front zone of a mined works is applied on a large scale and in a long-lasting manner on the Warsaw subway project, realised by contractor PeBeKa Lublin, namely its division for construction of the subway in Warsaw. The company has been using the silicate materials for preventive support of the roof and walls of the mined tunnel as a standard method since 1998. The convenient support of the excavation manifests itself in enhancement of the progress of the works connected with the construction of the tunnel, realised in very difficult geological conditions. The tunnel of the Warsaw subway is being driven in the Tertiary and Quaternary formations, consisting of saturated sands, gravels, loams, and also various man-made fills.

The length of individual boreholes reached 3 metres, and axial distance between the boreholes' centres was of 0.5 metre. Consumption of grouts per one bore hole amounted to about 120 litres. This method fully ensured the stability of the overburden and safety of workers during excavation operations.

In the Czech republic, the method of stabilisation of a front zone by means of silicate grouts was verified at driving an interceptor in Děčín, see the photo, the case was referred in the author's article [1.].

BASIC DATA

In the course of the year 2000, EREBOS Malé Svatoňovice drove a sewerage interceptor for a sewage treatment plant in Děčín town. The tunnel was driven in the Elbe River's sandy alluvia, prevailingly of very fine gradation. A serious and negatively acting phenomenon appeared in the course of driving the interceptor tunnel, consisting in variable saturation of the sandy alluvia. It was connected with the water level in the Elbe River.

The excavation of the interceptor was carried out manually, with assistance of an overhead loader, the mined space was supported by forepoling (planks) followed by installation of TH frames, whose sizes were adapted according to the tunnel cross section. The tunnel face was supported by a "facing", consisting of a section of a LARSEN sheet pile fixed on 4 needles - nails (reinforcement bars) - see the photo.

The facing was repeatedly driven into the front zone whenever a certain volume of sand was let out from the tunnel face so that spilling of other sand was prevented. Despite the fact that the sheeting planks were installed by means of trimming, the sand spilling into the excavated space occurred, followed by loosening of the overburden up to the surface. As a result, breaking of a marl layer about 60 cm thick, found at the surface, occurred, and water breakouts originated depending on weather conditions, usually after heavier rainfalls. This phenomenon was very insidious namely because of the fact that several sections of the tunnel were driven under a local road and buildings. The situation is obvious from the figure 1, where the alignment of the interceptor and local road and the layout of the buildings are shown.

SOLUTION OF THE INCOHESIVE SOILS IMPROVEMENT ISSUE

Several techniques were used in the course of the tunnel excavation to improve geotechnical properties of the rock environment. Jet grouting was

vyraženou štolou, aby bylo zabráněno dalšímu propadávání nadloží a vzniku propadlin na povrchu. Byl navržen standardní postup provádění injektážních prací spočívající ve vytvoření ochranného deštníku v předpolí ražby. První ochranný deštník byl proveden do vzdálenosti asi 1,5 m od čelby raženého díla, aby byl zajištěn prostor bezprostředně nad čelbou, ze které došlo k vysypání značného množství písku. Následně pak byl proveden další ochranný deštník, který zajistil prostor v předpolí ražby pro provádění dalšího postupu.

Schematicky je postup injektážních prací pro zajištění předpolí ražby znázorněn na obrázku 2. K injektáži uvedenou hmotou byly použity perforované injektážní trubky o vnějším průměru 16 mm a síle stěny 3 mm zarážené ve vzdálenostech asi 40 cm. I přes tento poměrně malý vnější průměr injektážní trubky docházelo ke stlačování písku v okolí zaražené trubky, a tím ke snižování jeho propustnosti, což způsobovalo problémy při provádění injektáže, kdy docházelo ke značnému nárůstu injektážních tlaků. V některých případech byla injektáž téměř neproveditelná. K injektáži hmot typu Bevedan - Bevedol WF nebo Bevedol NK bylo použito vysokotlaké injektážní čerpadlo typu GSF 35, které měla firma Erebos k dispozici.

Proinjektované písky nacházející se v raženém profilu díla způsobovaly vzhledem ke svým pevnostním vlastnostem určité těžkosti při jejich vylamování. Finanční náročnost injektáže a další uvedené potíže a problémy iniciovaly další technická jednání s cílem hledání vhodnějších způsobů řešení problematiky.

POUŽITÍ SILIKÁTOVÝCH INJEKTÁŽNÍCH HMOT

Pro další průběh ražby bylo rozhodnuto, že zpevňování písku bude prováděno vhodnějším injektážním materiálem s nižší viskozitou, který bude lépe pronikat do písků s velmi jemnou zrnitostí. Způsob samotné injektáže bude ponechán s tím, že bude provedena řada dílčích opatření vedoucích ke zkvalitnění a ulehčení provádění injektáže.

Problematika byla konzultována také s odbornými pracovníky FAST VŠB v Ostravě, kde byly řešeny především otázky požadovaných vlastností injektáží vzniklého geokompozitu, zejména jeho pevnostní vlastnosti. Z provedených úvah a propočtů vyplynulo, že k danému účelu použití nejsou potřebné vysoké pevnosti vzniklého geokompozitu. Při detailním posuzování se dospělo k závěru, že v daném případě je potřebné klást větší váhu na smykovou než tlakovou pevnost vrstvy vzniklého geokompozitního deštníku.

Na základě získaných referencí, poznatků, zkušeností, rozsáhlých konzultací a provedené analýzy bylo doporučeno použití injektážní silikátové hmoty s firemním označením TRIOSIL. Jednalo se o dvoukomponentní silikátovou hmotu se směšovacím poměrem 1 : 1, jejíž mechanické vlastnosti byly měřeny na zkušebních vzorcích odebraných z laboratorně proinjektovaného písku. Výsledky měření prokázaly, že minimální tlakové pevnosti geokompozitu běžně dosahují hodnoty 0,4 - 0,7 MPa, smyková pevnost velikosti $\varphi \geq 50°$ a soudržnost $c \geq 50$ kPa. Srovnávací modelové řešení provedené s reálnými

applied [1.], further a Bevedan - Bevedol WF type of polyurethane resin was used for improvement of sands. The resin was used not only to stabilise sands to provide support for subsequent excavation, but also, in the same time, for backfilling overbreaks above the excavated tunnel to prevent subsequent subsidence of the overburden and creation of local depressions at the surface. A standard procedure for execution of grouting operations was designed, consisting in development of a protective umbrella in the front zone. The first protective umbrella was performed up to the distance of about 1.5m from the tunnel face. Thus a support was provided at the area just above the tunnel face, which a considerable volume of sand spilled from. Subsequently another protective umbrella was built, which improved the area of the front zone, allowing a further advance.

A scheme of the grouting operations for improvement of the front zone is shown in the figure 2. Perforated injection pipes with outer diameter of 16 mm and 3mm-thick walls, driven at about 40 cm spacing, were used. Even despite this relatively small outer diameter of the injection pipe, compression of the sand in the vicinity of a driven-in pipe occurred. Thus permeability of the sand was reduced, which fact caused problems during grouting operations when a considerable increase in injection pressures occurred. In some cases the grouting was nearly unfeasible. For injecting the Bevedan - Bevedol WF or Bevedol NK type materials there was used a GSF 35 type high-pressure grouting pump, which was available in the Erebos company.

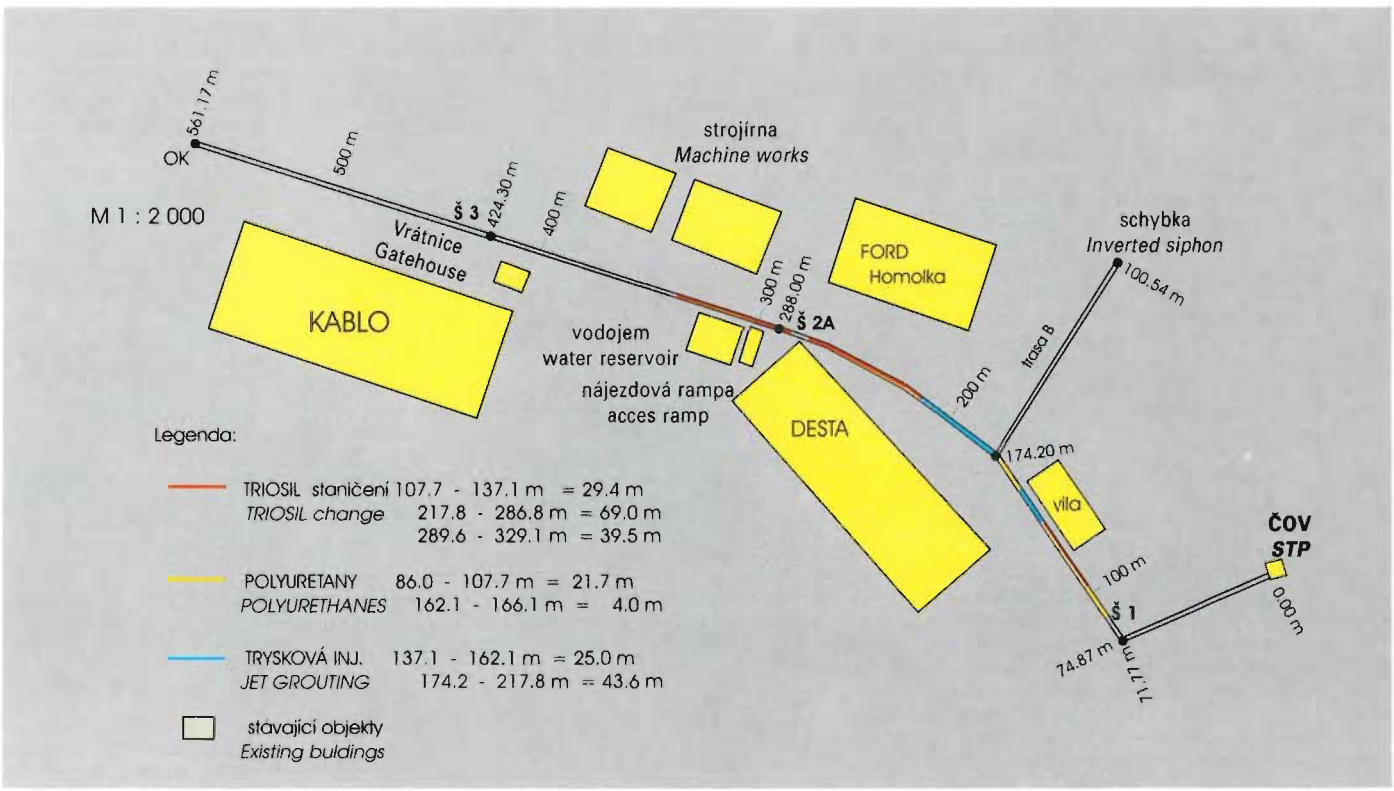
The sands treated by grouting found within the excavated profile of the works caused, with respect to their strength-related properties, certain difficulties during their breaking. Financial demands of the grouting and other above mentioned difficulties and problems initiated additional technical negotiations focused on searching for more suitable ways of solving the issue.

APPLICATION OF SILICATE GROUTS

It was decided for the further course of driving that sand improvement would be carried out with a more suitable grouting material with lower viscosity, which would penetrate better into sands with very fine grading. The method of the injecting proper would be maintained, although a series of partial measures leading to higher quality and easier execution of the grouting work would be adopted.

In addition, experts of FAST VŠB in Ostrava were consulted about the issue, solving the issue of requirements on properties of the geocomposite created by the grouting, of its strength-related property above all. It followed from considerations and calculations that no high strengths of the originated geocomposite were necessary for the given purpose of utilisation. A conclusion was made in the process of detailed assessment that it was necessary in the given case to emphasise shear strength more than compressive strength of the layer of the originated geocomposite umbrella.

Based on obtained references, knowledge, experience, extensive consultati-



Obr.1 Děčín - kanalizace a ČOV - Přehledná situace použití chemické injektáže a ražba štoly pod ochranou tryskové injektáže

Fig.1 Děčín - sewerage and STP - Layout of aplication of chemical grouting and excavation of the gallery under protection of jet grouting

parametry pevnosti (0,4 MPa) potvrzuje (obr. 3.), že účinnost ochranného deštníku, vytvořeného injektáží, je vysoká a dostatečná pro díla lokalizovaná do hloubky asi 15 m pod povrchem.
Na obr. 3 jsou znázorněny hodnoty stupně stability SF (safety factor) pro případy:
- nezpevněného prostředí okolí podzemního díla
- zpevněné kaloty díla
- zpevněné kaloty a boků díla
Hodnota SF vyjadřuje vztah:

$$SF = \frac{\tau_{mez}}{\tau_{max}},$$

kde značí
τ mez - mezní smykovou pevnost zpevněného prostředí
τ max - velikost max. smykového napětí v daném místě

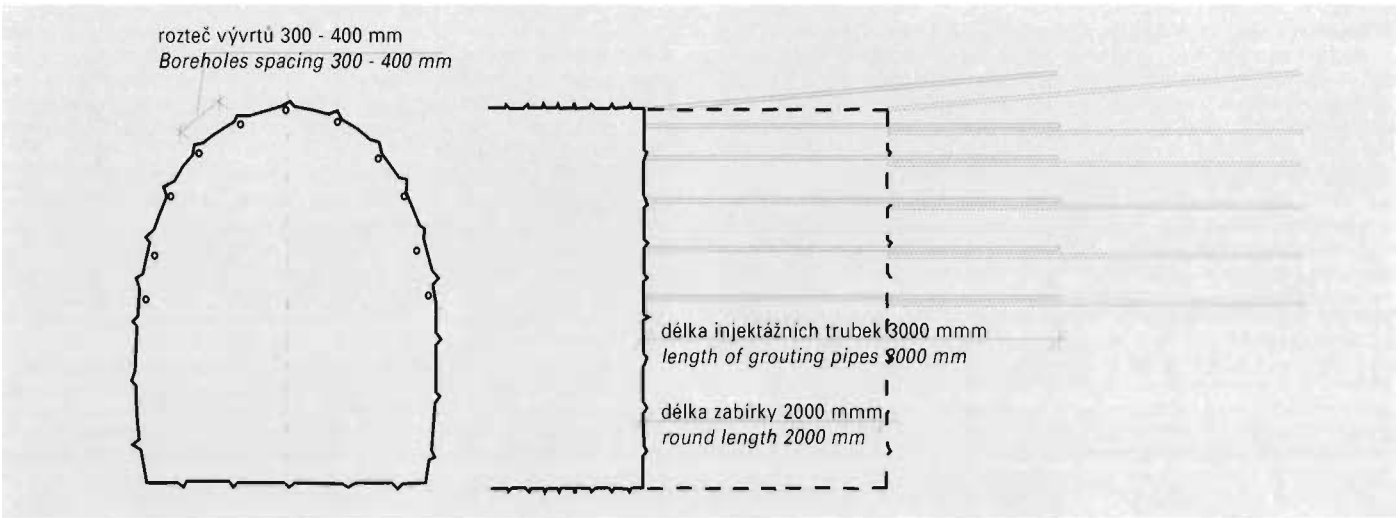
SF ≥ 1 charakterizuje stabilní stav díla, který umožňuje provádět výlomové práce bezpečně, bez vzniku lokálních porušení, závalů apod. Vliv způsobu zpevnění je zřejmý z obrázku a nevyžaduje další komentář. Účinnost zpevnění písků silikátovou pryskyřicí byla prakticky ověřena u popsaného případu ražby kanalizačního sběrače.
Proinjektované písky v předpolí ražby byly již asi po 1,5 hodině natolik zpevněny, že mohla být zahájena ruční ražba – rozpojování pomocí sbíjecího kladiva nebo motyky. Proti injektáži PUR byla výrazně nižší pevnost proinjektovaného písku, takže profil raženého díla mohl být velmi snadno vytvořen ručním rozpojením zeminy.
Jak prokázala praxe, kvalitu zpevnění bylo možno podle potřeby velmi dobře ovlivňovat objemem nainjektované hmoty nebo zvýšením počtu injektážních trubek, velikostí injektážního tlaku apod. Díky velmi různé viskozitě silikátové pryskyřice jsou tato opatření velmi efektivní s rychlým účinkem.

ons and an analysis performed, the use of silicate grout of TRIOSIL trade mark was recommended. It was a two-component silicate material with 1 : 1 mixing ratio, whose mechanical properties were measured on trial samples collected from sand grouted in laboratory conditions.
The measurement results proved that compressive strengths of the geocomposite generally achieve a value of 0.4 - 0.7 MPa, shear strength expressed by means of angle of internal friction φ ≥ 50°, and cohesion c ≥ 50 kPa. A comparison model solution performed using actual strength parameters (0.4 MPa) confirms (see Fig.3) that efficiency of the protective umbrella created by the grouting is high and sufficient for works located up to a depth of about 15 m under the surface.
Fig. 3 shows a representation of the values of the safety factor SF for following cases of:
- unconsolidated environment around an underground works
- consolidated crown
- consolidated crown and walls
The SF value is expressed by following relation:

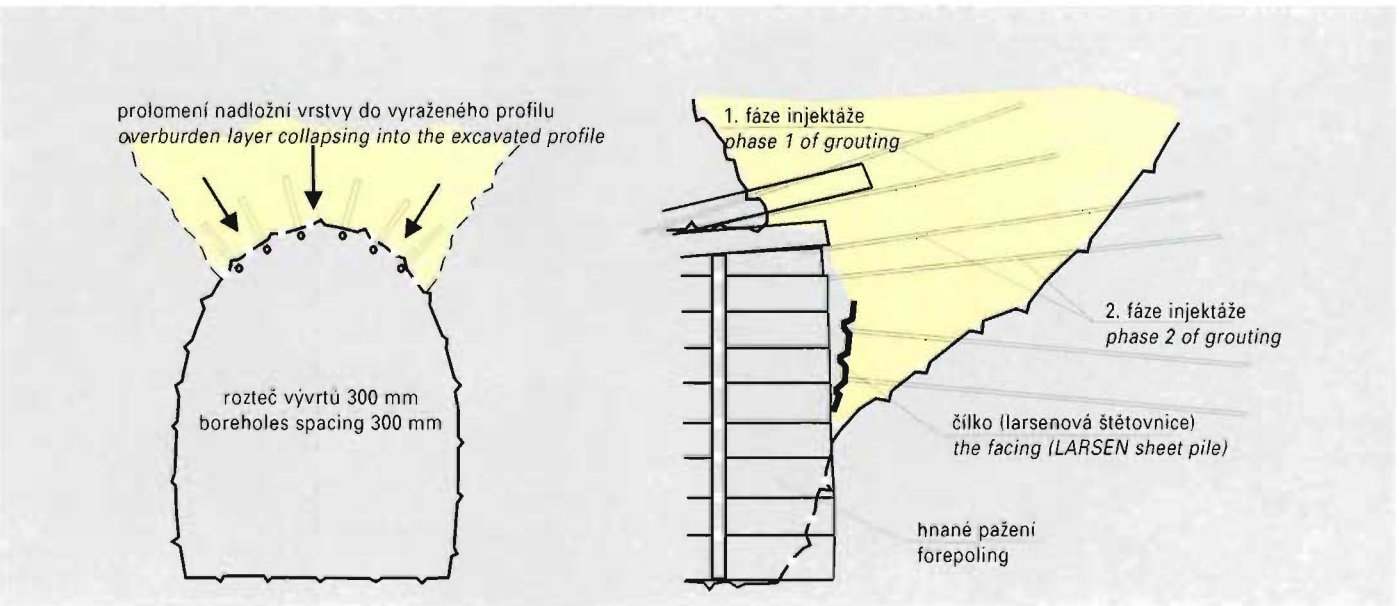
$$SF = \frac{\tau_{mez}}{\tau_{max}},$$

with
τ ult - ultimate shear strength of consolidated environment
τ max - value of maximum shear stress

The SF ≥ 1 characterises a stable condition of the works, enabling execution of excavation operations safely, without occurrence of local failures, collapses etc. The impact of the method of stabilisation is obvious from the picture, and it needs no other commentary. Efficiency of the sand stabilisation with the silicate resin was practically verified on the described case of excavation of the interceptor.



Obr. 2 Schematické znázornění postupu při injektáži silikátovými hmotami
Fig. 2 Procedure of grouting with silicate materials



Obr. 3 Přecházení kritického místa - prolomení nadloží
Fig. 3 Passing over a critical location - collapse of overburden

Způsob zajišťování předpolí ražby včetně překrytí jednotlivých vějířů je schematicky znázorněn na obr. 3.

SROVNÁNÍ POUŽITÝCH TECHNOLOGIÍ ZAJIŠŤOVÁNÍ RAŽBY KANALIZAČNÍHO PŘIVADĚČE

Na základě výsledků docílených při ražbě díla v exponovaných místech (pod místní komunikací) je možno konstatovat, že pro určité podmínky je metoda zpevňování nesoudržných zemin pomocí ochranného deštníku vytvořeného injektáží hmot na bázi silikátů při ražbě podobných podzemních děl vhodnější než metoda tryskové injektáže.

Výhody je možno spatřovat především ve finanční a časové náročnosti realizace zpevnění okolních hornin raženého díla. Technologie tryskové injektáže představuje výrazně vyšší finanční nároky na strojní vybavení, což vede k tomu, že zajištění musí být prováděno specializovanou firmou mimo pracovní cyklus ražení. V praxi to znamená odstavení pracoviště s důsledky na výkon ražení atd. Velmi závažnou se jeví také časová náročnost na provedení zajišťování. V případě tryskové injektáže musí být respektován časový odstup pro zatuhnutí injektované cementové směsi, u injektáže silikátovými hmotami je tento časový odstup téměř zanedbatelný. Výhodou injektáže silikátovými hmotami je také skutečnost, že je možno v kterémkoliv okamžiku podle potřeby provést doplňující injektáž. Další výhodou je použití ocelové výztuže stejných tvarů a rozměrů a také úspora stříkaného betonu.

Uvedené přednosti použití technologie injektáže se projevily v denních a celkových postupech ražby. Před použitím injektáže činily průměrné denní postupy ražby asi 1 m/den, aplikace injektáže silikátových hmot umožňovala postupy až 2,5 m/den, tedy 2,5krát vyšší.

Zajímavé je také porovnání průměrných nákladů na zajištění - přípravě běž-

As early as after 1.5 hour after grouting, sands in the front zone of the excavation achieved a degree of consolidation enabling commencement of hand mining, i.e. disintegration by means of hand-held picks or hacks. In contrast with PUR grouting, the strength of grouted sand was significantly higher, thus the tunnel profile could be formed by manual disintegration of the ground easily. As proved by practice, quality of stabilisation could be very well influenced as needed by the volume of injected grout or increasing the number of grouting pipes, by the value of grouting pressure etc. Owing to very variable viscosity of the silicate resin, these measures are very efficient, with a swift effect. The way of supporting the front zone of the excavation, including overlapping of individual fans, is schematically shown in Fig. 3.

COMPARISON OF APPLIED TECHNIQUES OF SUPPORTING THE EXCAVATION OF THE INTERCEPTOR

Based on the results achieved during excavation of the tunnel in exposed locations (under a local road), it is possible to state that for certain conditions the method of improvement of incohesive soils by means of a protective umbrella created by injecting silicate-based grouts is more suitable for driving similar underground works than the jet grouting method.

Advantages can be seen mainly in financial and time-related demands of stabilisation of surrounding rocks around an underground works. The jet grouting technique represents significantly higher financial demands on mechanical equipment, which fact results in a necessity to have a specialised company working on the support beyond the excavation cycle. In practice, this means a downtime affecting the excavation progress, etc. Also the time consumption aspect of the support execution appears significant. At jet grouting, the need of a time lag for setting of cementitious grout after injecting



Obr. 4 Děčín - kanalizační štola
Fig. 4 Děčín - sewerage galery

CarboTech Bohemia s.r.o.

Lihovarská 10, 716 03 Ostrava-Radvanice
Tel.: 00420 69/ 6232 801-3
Fax: 00420 69/ 6232 994
E-mail: carbotech@carbotech.cz

MOBILNÍ ROTAČNĚ PŘÍKLEPNÉ VRTACÍ SOUPRAVY





zastoupení firmy MORATH pro Českou a Slovenskou republiku

prodej • servis • pronájem • realizace

ného metru raženého díla k ražbě. Zatímco v případě tryskové injektáže činily tyto náklady asi 53 000 Kč/bm, při zajišťování prováděném s použitím silikátových injektážních hmot (tzv. krokovou injektáží) činily tyto náklady asi 19 000 Kč/m.

Je nutno zdůraznit, že dobrých výsledků bylo docíleno také díky velmi dobré spolupráci mezi oběma účastněnými firmami, vysoké odbornosti a dodržování technologické kázně práce provádějícími pracovníky firmy Erebos.

ZÁVĚR

Přestože bylo docíleno velmi dobrých výsledků k všeobecné spokojenosti, byla celá záležitost použití injektážních silikátových hmot následně firmou CarboTech Bohemia, s. r. o., ve spolupráci s odbornými institucemi analyzována. Byly provedeny další zkoušky některých fyzikálních a chemických vlastností geokompozitu - proinjektovaného písku. Těmito zkouškami byly potvrzeny předpoklady vhodnosti a spolehlivosti použití injektáže i zabezpečení výlomů děl s výškou nadloží do 15 metrů. Současně bylo prokázáno, že dosažení tlakové pevnosti vzniklých geokompozitů ve výši min. 0,5 - 1,7 MPa je reálné při relativně nízkých nákladech na aplikaci, přičemž není zanedbatelná velmi dobrá rozpojitelnost zpevněného prostředí. Za velmi výhodnou je možno považovat vysokou adaptabilnost technologie ve vztahu k přírodním podmínkám realizovaných ražeb.

LITERATURA:

[1.] Fabián, O. - Hadačová, D.: Kanalizace a čistírna odpadních vod pro město Děčín. Tunel, roč. 10, č. 1/01, Praha 2001

[2.] Horáček, J. - Bierut, J.: Technologie zpevňování písků při ražbě kanalizačního sběrače v městě Děčín. Sborník 6. mezinárodního semináře Zpevňování a těsnění hornin a stavebních konstrukcí na počátku 21. století, Ostrava 2001

has to be respected, while this lag is nearly negligible at injecting silicate grouts. An advantage of injecting silicate grouts is also in the fact that it is possible to carry out additional grouting at any moment, as needed. Another advantage is the use of steel ribs of identical shapes and dimensions, as well as saving in sprayed concrete. The above mentioned advantages of the grouting technique applied manifested themselves in daily and overall progress of excavation. Before the application of grouting, advance rates had averaged about 1m per day. Application of injecting silicate grouts made advances up to 2.5m per day, i.e. 2.5 times higher, possible. Also a comparison of average cost of the support, i.e. preparation of 1 running meter of the excavated works for excavation, is interesting. While this cost amounted to about 53,000 CZK/lm at jet grouting, it amounted to about 19,000 CZK/lm at supporting by means of silicate grouts. It is necessary to stress the fact that those good results were also achieved owing to very good collaboration between both participating companies, high expertise of and adherence to technological rules of the work by Erebos' employees.

CONCLUSION

Despite the fact that very good results had been achieved to general satisfaction, the overall matter of utilisation of silicate grouts was subsequently analysed by CarboTech Bohemia s.r.o. and co-operating professional institutions. Additional testing of some physical and chemical properties of the geocomposite, i.e. properties of sand treated by grouting, was performed. The tests confirmed the assumptions regarding suitability and reliability of the grouting use for supporting of excavation of underground works with an overburden height up to 15 meters. In the same time, it was proved that it is realistic to achieve compressive strength of resulting geocomposites at a value of min. 0.5 - 1.7 MPa at relatively low cost. The fact that the breaking characteristic of the stabilised environment is very good should not be disregarded. High level of adaptability of the technique in relation to natural conditions of realised mining works can also be considered as a great advantage.

REFERENCES:

[1.] Fabián O. - Hadačová D.: Sewerage and Sewage Treatment Plant for Děčín Town. Tunel, vol. 10, issue 1/01, Prague 2001

[2.] Horáček J. - Bierut J. : Technique of Sands Stabilisation at Excavation of Sewerage Interceptor in Děčín Town. The volume of papers of the 6th International Seminar on Stabilisation and Sealing of Ground and Structures at the Beginning of the 21st Century, Ostrava 2001

METRO POD VLTAVOU NA TRASE IVC1

SUBWAY BELOW VLTAVA ON THE IV C1 LINE

DOc. ING. JAN L. VÍTEK, CSc., METROSTAV, a. s.

1. ÚVOD

V tendrové dokumentaci byl zvolen postup výstavby tradiční metodou v jímkách. Protože na Vltavě v místě křížení (mezi mostem Barikádníků a tramvajovým mostem) existuje čilý lodní provoz a též z dalších důvodů, bylo nutné navrhnout 3 jímky, ve kterých by se tunely metra postupně betonovaly. Jímky musely být značně rozměrné, zasahovaly též do břehových oblastí a proto bylo nutné počítat s nákladnými dvojitými jímkami. Postup výstavby byl pomalý, předpokládalo se, že výstavba potrvá 3 stavební sezóny. Tím byl úsek pod Vltavou - označovaný jako oddíl 2 - na kritické cestě a zpomaloval výstavbu celé trasy IV C1. Proto vznikla snaha použít jinou technologii, která by byla obecně příznivější.

2. GEOMETRICKÉ PARAMETRY TRASY METRA POD VLTAVOU

Pod Vltavou byly navrženy 2 nezávislé tunelové trouby, každá pro jednu kolej. Průřez tubusů je přibližně čtvercový cca 6,5 x 6,5 m s tloušťkou stěny, dolní a horní desky 0,7 m. V půdoryse jsou tubusy zakřiveny. Pravá kolej (směrem po proudu) má poloměr 750 m a levá kolej (proti proudu) 670 m. Tunely jsou na holešovické straně od sebe vzdáleny asi 8 m, což je důsledkem uspořádání stanice Nádraží Holešovice se středním nástupištěm. Na trojské straně je vzdálenost tunelů jen asi 1 m, protože se koleje pak sbíhají do dvoukolejného tunelu, který pokračuje do Kobylis. Výškově jsou tunely vedeny v údolnicovém oblouku o poloměru 3 800 m. Délka vysouvaných tunelů je 168 m.

3. VARIANTY POSTUPU VÝSTAVBY

Metrostav, a. s., již v době před vypsáním veřejné soutěže uvažoval o variantní technologii výstavby, aby se postup prací urychlil. Původní úvahy měly vzor v plavených holandských tunelech. Princip spočívá v tom, že se části tunelových trub vybetonují, pak uzavřou a jako plovoucí tělesa se přepraví na místo, kde se spustí na dno a připojí k dříve uloženým segmentům tunelu. Tato alternativa se ukázala jako nevhodná pro náš případ proto, že zakřivený tvar neumožňuje stabilní plavání tělesa a dále proto, že ve Vltavě není dostatek vody. Plovoucí tunel by působil jako přehrada na vodním toku. Další variantou byla analogie k vysouvaným mostům. Tunel by se po částech betonoval v suchém doku vybudovaném v břehové části na trojské straně a postupně vysouval do řečiště. Takový postup se též ukázal jako málo vhodný proto, že požadavky na přesnost byly neúměrně vysoké a vybudování dočasných podpor v řečišti se zdálo velmi obtížné.

Zvolená varianta výstavby kombinuje postup vysouvání a zaplavování. Využívá vztlaku vody k nadlehčení tunelu, což vede k redukci manipulačních sil, a přitom posun po dráze, která je celá mimo řeku stabilizuje tunel při pohybu. Princip postupu spočívá v tom, že celý tunel se postupně vybetonuje v suchém doku a pak se jako celek přesune do definitivní polohy v rýze v říčním dně. Při výsuvu bude tunel relativně lehký vlivem vztlaku vody, a proto je možné jej zavěsit v přední části na ponton a zadní část nechat posunovat po předem připravené dráze. Tunel bude tažen lanovým systémem z protějšího břehu. Předpětí lan se zajistí dalším zadním brzdným závěsem. Potřebné tažné síly se vyvinou pomocí hydraulického zařízení.

Výhody navrhovaného a v současné době realizovaného postupu spočívají v urychlení výstavby (doba výstavby obou tunelových trub pod řekou se předpokládá asi 1,5 roku včetně přípravných prací), zásahy do břehových částí i do řečiště jsou podstatně menší, což je zejména příznivé z ekologických důvodů. Omezení plavby se redukuje velice významně a klesají rizika spojená s nebezpečím velké vody. Též se předpokládá finanční úspora. Kvalita vlastního tunelu bude vyšší, neboť se použije kvalitnější vodostavebný beton a silnější vyztužení dimenzované na trhliny. Tunely pod Vltavou nebudou opatřeny izolací proti vodě. Vodotěsnost se zajistí kvalitou betonové konstrukce.

1. INTRODUCTION

A construction progress using the traditional method of cofferdams was selected in the tender documentation. Because there is an active shipping traffic along the Vltava river at the spot of crossing (between the Barikádníků bridge and the bridge for trams), and also from other reasons, it was necessary to design three cofferdams, in which the subway tunnels would be concreted one after another. The cofferdams had to be considerably extensive, they even extended to bank areas and therefore it was necessary to calculate with expensive double cofferdams. The construction progress was slow, it was estimated that the construction will go on for three building seasons. Thus, the part below Vltava - marked as Section 2 - was on a critical path while slowing down construction of the entire IV C1 line. Therefore, an effort to use another, generally more acceptable technology arose.

2. GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE SUBWAY LINE BELOW THE VLTAVA

Two independent tunnel tubes, each for one track, were designed below Vltava. The tube has app. square cross-section 6,5 x 6,5 m, with a width of wall, lower and upper slabs of 0,7 m. The tubes are curved in the ground plan. The right track (downstream) has a radius of 750 m, the left one (upstream) of 670 m. Tunnels at the side of Holešovice are app. 8 m away from each other, due to arrangement of the station Nádraží Holešovice with a central platform. At the side of Troja, the tunnels' distance is only app. 1 m, because the tracks then join into double-track tunnel, which continues towards Kobylisy. As what elevation concerns, tunnels are conducted in a valley bow with a radius of 3800 m. The length of tunnel sections to be pulled into the river is 168 m.

3. THE ALTERNATIVES OF CONSTRUCTION PROCEDURE

Metrostav a.s. already in the time before calling of the public tender thought about an alternative technology of construction, so that the progress of works would fasten. Original thoughts have their model in floated Dutch tunnels. The principle lies in the fact that parts of the tunnel tubes are concreted, then sealed and as floating objects transported to a spot where they are lowered to the bottom and linked to already placed tunnel segments. This alternative proved as unsuitable for our case because the curved form does not allow stable object's floating and furthermore because there is not enough water in Vltava. The floating tunnel would work as a dam on the water stream. An analogy to the incrementally launched bridges was another alternative. The tunnel would be by parts concreted in a dry dock, constructed within the back area of the Troja side, and would be consequently shifted into the riverbed. This procedure also proved as of little suitability because the requirements on precision were inadequately high while construction of temporary supports in the riverbed seemed very complicated.

The selected construction alternative combines the procedures of pulling and floating. It uses the water buoyancy to lighten the tunnel, leading to reduction of manipulating forces, while the pulling along track, which is entirely outside of the river, stabilizes the tunnel during its movement. The procedure principle lies in the fact that that the entire tunnel is gradually concreted in the dry dock and then as a whole transported into definite position in a trench in the riverbed. During the puling operation, the tunnel will be relatively light, due to impact of the water buoyancy, and therefore it is possible to lock its front part on a pontoon and to let the rear part slide along previously prepared track. The tunnel will be dragged by a wire rope system from the opposite bank. The rope pre-tensioning will be ensured by another rear break suspension. Required haulage force is to be provided using a hydraulic equipment.

Advantages of the proposed and currently realized procedure lie in acceleration of the construction (time of construction of both tunnel tubes below the river is estimated app. 1.5 years, including preparatory works), impacts on the bank areas as well as riverbed are significantly smaller, which is especially favorable from ecological reasons. Limitation of shipping is largely reduced while the risks connected with the danger of floods decrease. Financial saving is also expected.

4. REALIZOVANÝ POSTUP VÝSTAVBY

Koncem loňského roku byly zahájeny práce na budování tzv. suchého doku. To je stavební jáma zajištěná milánskými stěnami v místě pokračování tunelů v břehové části na trojské straně. Proti Vltavě je zajištěna štětovou stěnou na výšku cca 13 m. V suchém doku se vybetonovala první tunelová trouba. Během první poloviny roku se těžila rýha ve dně Vltavy, kde budou tunely definitivně umístěny a zasypány. Jejich strop bude přibližně 6 m pod hladinou řeky. Po zřízení suchého doku se na jeho dně betonovaly podélné prahy pod stěnami budoucího tunelu. Ty slouží jako základ pro tunel v poloze betonáž, pro pojezd posuvné formy a nakonec jako výsuvná dráha pro přesun tunelu. Betonáž tunelu probíhala po 12 m dlouhých segmentech, kterých je celkem 14. Po ukončení betonáže se tunel vystrojí dalším zařízením nezbytným k přesunu tunelu. K dosažení správné tíhy tunelu pod vodou a k vyrovnání nepravidelností vyvolaných běžnými nepřesnostmi slouží 3 skupiny vodních nádrží umístěných v tunelu. Nádrže jsou vybaveny čerpadly a měřením výšky hladiny. Tunel se na obou koncích musí uzavřít. Víka jsou navržena z oceli jako tenkostěnné konstrukce s výztuhami. Někdy se navrhují i víka betonová, avšak v tomto případě se použila víka ocelová, neboť jsou výrazně lehčí. Na vnějšku tunelu je osazena řada kotevních prvků. K nim se připevní tažné zařízení a podpůrné prvky.

Tažné zařízení obsahuje dva systémy lan, které spojují tunel s tažnými jednotkami na protějším (holešovickém) břehu. Dále je doplněno brzdné zařízení, které se skládá z vlastního hydraulického systému a lanového závěsu. Brzdné zařízení slouží k případnému zastavení tunelu, nebo pokud by vznikla potřeba zpětného pohybu, ale jeho hlavní úloha spočívá v tom, že předpíná tažná lana, což vede ke ztužení celého systému a snížení citlivosti na další impulzy.

Po vystrojení tunelu se zaplavil suchý dok. Tunel se nadzdvihl pomocí hydraulických válců, a tím se plně aktivoval vodní vztlak. Pak se vhodně upravila hladina vody v nádržích. Tunel byl zavěšen přibližně ve vzdálenosti 1/3 délky od předního konce na ponton. Zadní část tunelu spočívala na posuvném zařízení na dráze v suchém doku. Po otevření štětové stěny se tunel vysouval v předepsané dráze mírně nad jeho budoucí polohou až se čelo tunelu dostalo do otvoru v jímce na holešovické straně. Pak nastalo definitivní osazení tunelu na připravené koncové podpory a jeho postupné podbetonování a ukotvení do dna řeky. Suchý dok na trojské straně se utěsní, uzavře a vyčerpá. Postup se bude opakovat pro druhý tunel. Po výsuvu druhého tunelu do definitivní polohy se suchý dok opět vyčerpá a vybetonují se definitivní tunely. Ty se pak zahrnou a jáma bude zrušena.

5. BETONÁŽ TUNELU

Tunely pod Vltavou svou konstrukcí zajišťují vodotěsnost. Proto byla postupu betonáže věnována mimořádná pozornost. Segmenty dlouhé 12 m byly betonovány v jednom pracovním záběru, aby se maximálně omezil počet pracovních spár. Ty zbývají pouze na styku jednotlivých segmentů. Betonáž celého průřezu tubusu najednou kladla značné nároky na konstrukci bednění a na betonovou směs. Betonáž se zahájila ve středu spodní desky. Po jejím zhotovení se betonovaly stěny a nakonec stropní deska. Betonáž stěn musela být tak pomalá, aby beton desky dostatečně zatvrdl a nedošlo k jeho vytlačení (dolní deska nemá horní bednění) a zároveň natolik rychlá, aby nevznikaly nežádoucí pracovní spáry vlivem dlouhých přestávek mezi jednotlivými dodávkami betonu. Speciálně navržená betonová směs s ohledem na zpracovatelnost a rychlosti tuhnutí se dopravovala z výrobny TBG Metrostav. Protože se jednalo o neobvyklý a náročný postup, betonáž se zkoušela na velkorozměrném modelu části tunelu tvaru L o rozměrech 6 x 4 x 6,5 m. Sledoval se postup betonáže, rychlost tuhnutí betonu a vývoj teplot od hydratačního tepla.

Teplotní režim při betonáži masivních konstrukcí je závažný z hlediska vývoje napjatosti a nebezpečí vzniku trhlin. Zejména při napojování nového segmentu na dříve vybetonovaný dochází k tomu, že starší část konstrukce je studená a nová ohřátá hydratačním teplem. Po vychladnutí, a tím i smrštění nové části v ní mohou vznikat trhliny, které by v našem případě ohrozily vodotěsnost tunelu. Podrobná analýza vývoje tepla provedená Prof. Šmerdou a jeho kolektivem pomocí programu Dr. Červenky ATENA vedla k rozhodnutí omezit teplotní gradienty tím, že se starý segment ohřeje, a tím se sníží teplotní gradient a vznikající napětí a omezí se tak riziko trhlin. Kromě tohoto opatření se upravila výztuž tak, aby byla v co nejúčinnější poloze.

Vodotěsnost konstrukce je nejvíce ohrožena v oblasti pracovních spár. Jejich utěsnění je několikanásobné. Gumový těsnící pás šířky 240 mm zajišťuje hlavní ochranu. Doplňující těsnění tvoří bentonitový pásek a injektážní trubičky, které se použijí v případě průniku vody. Jejich konce jsou vyvedeny dovnitř tunelu tak, aby byly použitelné i v případě pozdější nutnosti tunel dotěsnit.

Quality of the tunnel itself will be higher, because higher-quality water-retaining concrete and stronger reinforcement, dimensioned for faults, will be used. Tunnels below Vltava will not be equipped with waterproofing. That will be ensured by the quality of concrete structure.

4. REALIZED PROCEDURE OF CONSTRUCTION

By the end of last year, works on construction of the so-called dry dock were commenced. It is a construction pit, secured by Milan walls at the location of tunnel route's continuation on the bank area at the Troja side. It is secured from Vltava by a sheet-pile wall app. 13 m high. The first tunnel tube was concreted in the dry dock. During the first half of this year, a trench in the Vltava riverbed was dug out, where the tunnels will be ultimately placed and covered. Their roof deck be app. 6 m below the river surface. Following construction of the dry dock, longitudinal strips were being concreted at its bottom below the tunnel walls. They serve as a base for tunnel in the position for concreting, for movement of the sliding form and lastly as a launching track for the tunnel shifting. The tunnel concreting progressed with 12 m long segments, of which there is totally 14. After completion of the concreting, the tunnel will be equipped with another facility, essential for the tunnel shifting. Serving to reach the correct tunnel weight underwater and to equalize irregularities evoked by common inaccuracies, there are 3 groups of water tanks located in the tunnel. The tanks are equipped with pumps and a device measuring height of the river surface. The tunnel has to be sealed at both ends. The covers are designed from steel as a thin-walled structure with stiffeners. Sometimes also concrete covers are being designed, however, in this case the steel ones have been used, because they are significantly lighter. The tunnel's surface is covered with a row of anchoring elements. Dragging mechanism as well as supporting elements will be attached to those.

The dragging mechanism consists of two systems of wire ropes, which connect the tunnel with dragging units on the opposite bank (Holešovice). Moreover, a breaking device, which consists of the hydraulic device proper and the rope suspension, is added. The breaking device serves for eventual tunnel hold, or if the need for a backward movement arose. Still, its main role is to pre-tense the pulling ropes, which leads to consolidation of the entire system and thus to reduction of sensibility towards other impulses.

After the tunnel was equipped, the dry dock was filled with water. The tunnel was lifted using hydraulic cylinders and thus fully activated the water buoyancy. The water surface in tanks was then suitably adjusted. The tunnel was suspended app. 1/3 of length away from the front end to pontoon. The rear tunnel part lied on a sliding device on the track in dry dock. After opening of the sheet-pile wall, the tunnel was slid along the set alignment, slightly above its future position, until the tunnel forehead got to the opening in the cofferdam on the side of Holešovice. Then the ultimate placement of the tunnel onto prepared terminal supports and gradual casting of concrete under the structure, and anchoring to the riverbed followed. The dry dock at Troja side will be sealed, closed and dewatered. The same procedure will be applied for the other tunnel. After shifting of the second tunnel into the ultimate position, the dry dock will be dewatered again and the final tunnels concreted. They will be then covered and the pit removed.

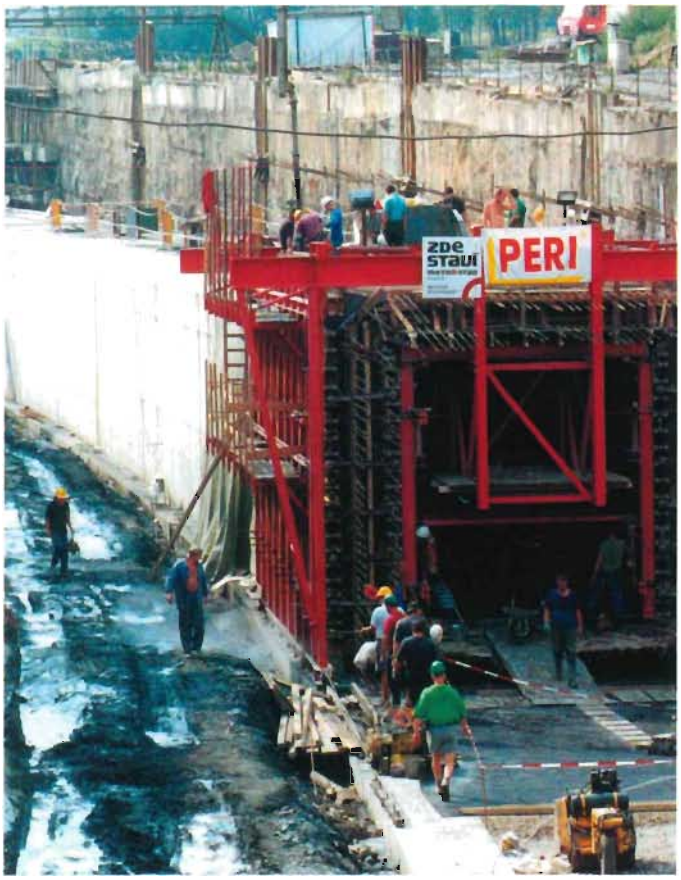
5. TUNNEL CONCRETING

Tunnels below Vltava ensure waterproofing through their structure. Therefore, a maximum attention was devoted to the procedure of concreting. 12 m long segments were cast in one working shift, so that the number of day joints would be maximally limited. They remain only at the contacts of individual segments. Concreting of the tube's cross section suddenly put significant demands on a construction of formwork and on the concrete mix. Concreting was commenced in the middle of the bottom slab. After its completion, walls and finally roof slab were concreted. The concreting of walls had to be slow, so that the concrete of the bottom slab would harden and its deformation would not occur due to the pressure (the bottom slab does not have formwork on the upper surface), while also fast enough, so that undesired day joints, as an impact of longer pauses among individual supplies of concrete, would not develop. Specially designed concrete mix, with regards to handling and speed of hardening was transported from batching plant of TBG Metrostav. Because it concerned unusual and complicated procedure, the concrete operation was tested on a dimensional model of an L-form tunnel part with measures 6 x 4 x 6,5 m. The procedure of concreting, speed of hardening and development of temperatures from the hydration were being observed.

The temperature regime during concreting of massive structures is important from the viewpoint of development of stress and danger of formation of faults. Especially at connection of a new segment to a previously concreted one, the older part of structure is cold while the new one is hot due to hydration heat. After cooling down and consequent contraction of the new part, faults can arise in it, which in our case would eventually endanger tunnel's waterproofing properties. A thorough analysis of the heat development, elaborated by prof.



Obr. 1 Posuvné bednění a částečná výztuž dalšího segmentu
Fig. 1 Sliding forwork and partial reinforcement of the next segment



Obr. 2 Pohled na posuvné bednění zpředu
Fig. 2 Front view of the formwork

Betonáž jednoho segmentu o objemu cca 195 m³ včetně přípravy, přesunu formy a vyztužení trvala po zaběhnutí 4 dny.
Posuvná forma byla vyvinuta pro konstrukci tunelů ve spolupráci s firmou PERI (obr. 1 a 2). Tuhý vnitřní díl tvoří ocelová konstrukce s vnitřním bedněním stěn a stropu. Ocelová konstrukce je podporována vpředu portálovým rámem a vzadu pojíždí po dolní desce již hotového segmentu. Vnější bednění stěn je připnuto k vnitřním stěnám spínacími tyčemi a při přesunu je podporováno vpředu portálovým rámem (obr. 2) a vzadu pojíždí po stropě tunelu prostřednictvím příčného nosníku s podvozky. Forma umožňuje dodržení přesného tvaru a rozměrů tunelu.
Přesné rozměry tunelu musí být dodržovány zejména proto, aby se dosáhlo plánované hmotnosti tunelu, což je podmínka úspěšné manipulace. Celý tubus o délce 168 m váží zhruba 7000 t a přitom je nadlehčován téměř stejnou silou, aby s ním bylo možné manipulovat. Odchylky od projektované hmotnosti by vedly k nutnosti tunel příliš mnoho přitěžovat nebo, pokud by byl příliš těžký, k nemožnosti jeho posunu. Před naplánováním výstavby a konečným rozhodnutím o tloušťkách stěn tubusu provedl kolektiv prof. Teplého z VUT Brno rozsáhlé statistické vyhodnocení vlivu variability rozměrů, objemové hmotnosti betonu a dalších faktorů s cílem ověřit reálnost dosažení požadovaných parametrů a s cílem stanovit např. potřebnou velikost vyvažovacích nádrží. Ukázalo se, že statistický rozptyl cílové hmotnosti může být značný, avšak vhodným postupem betonáže za současného sledování již vybetonovaných úseků jej lze výrazně snížit.
Výsledné parametry dosažené při betonáži byly příznivější než se předpokládalo. Odchylky tlouštěk stěn se pohybovaly do 6 mm typicky 2 - 3 mm, odchylky v objemu betonu u jednotlivých nepřesáhly 1,3 % typicky 0,6 %. To jsou parametry výrazně lepší, než připouští normové předpisy. Největší rozptyl vykazovala objemová hmotnost betonu. Dobetonovaný první tunel v suchém doku je vidět na obr. 3.

6. ÚČASTNÍCI VÝSTAVBY

Investorem celé stavby je Dopravní podnik hl. m. Prahy, a. s., který je zastupován IDS, a. s. Projektovou dokumentaci zpracovává Metroprojekt, a. s. Generálním dodavatelem celé trasy je Metrostav, a. s. a dodavatelem oddílu 02 - podchodu pod Vltavou je divize 6 a. s. Metrostav. Na oddílu 02 spolupracuje značným dílem Zakládání staveb, a. s., která provádí jako subdodavatel práce spojené s těžením ve vodě a se zajištěním tunelu v definitivní

Šmerda and his collegium with help of Dr. Červenka's ATENA program, lead to a decision to reduce temperature gradients through heating of the old segment, which would lower the temperature gradient as well as the arising stress, and thus also reducing the risk of faults. Beside this measure, the reinforcement was adjusted so that it would be in its most effective position.
Waterproofing of the structure is mostly endangered in the areas of day joints. Their sealing is multiple. Rubber sealing belt with a width of 240 mm provides the main protection. Additional sealing consists of bentonite belt and injecting pipes, which are to be used in case of water penetration. Their ends are conducted inside of the tunnel, so that they would be useful also in case of future necessity to additionally seal the tunnel.
Concreting of one segment, 195 m3 by volume, including preparation, transportation of form and reinforcement, took after a learning period 4 days.
The sliding form was developed for tunnel constructions in cooperation with the PERI company (Fig. 1 and 2). Steel framework with inner wall formwork and ceiling comprise the tough inner segment. Steel framework is supported in the front by a portal frame while in the back it slides along bottom slab of already completed segment. Outer wall formwork is attached to the inner walls by connecting rods, during shifting, it is supported in the front by a portal frame (Fig. 2) while in the back it slides on roof deck of the tunnel using lateral girder with undercarriages. The form allows to keep precise shape as well as tunnel dimensions.
Precise tunnel dimensions have to be kept especially in order to reach planned tunnel weight, which is a condition of successful handling. The entire 168 m long tube weighs app. 7000 tons while it is being lightened with almost the same force, so that handling is possible. Deviations from the designed weight would lead to necessity to add extensive loading on the tunnel or, being it too heavy, to impossibility of its shifting. Prior to construction planning and final decision about widths of tube's walls, collegium of Prof. Teplý from TU Brno realized an extensive statistical evaluation of impact of dimensions variability, volume weight of concrete as well as other factors in order to verify reality of achievement of the required parameters and also in order to determine for instance required size of the stabilization tanks. It was showed that statistical deviance of the objective weight can be significant, however, with a suitable procedure of concreting and by monitoring of already concreted segments it can be also significantly lowered.
Resultant parameters achieved during the concreting were even more favorable than expected. Deviances in wall widths ranged within 6 mm, usually 2-3 mm,



Obr. 3 Hotový tunel v doku
Fig. 3 Completed tunnel in the dry dock

poloze. Na vývoji a realizaci tažného zařízení spolupracovala firma VSL. Vzhledem k mimořádnosti stavby byla ustanovena na úrovni dodavatele Technická rada, tj. skupina odborníků z řad dodavatele, projektanta a nezávislých expertů z ČR a ze zahraničí. Technická rada schvaluje koncepci řešení a dohlíží nad realizací stavby.

7. ZÁVĚR

Stavba dosud není dokončena, proto je předčasné dílo hodnotit. Dosud lze konstatovat, že betonáž prvního tubusu proběhla bez závažných problémů s lepšími parametry, než se plánovalo. Zkušenosti z dosavadního vývoje projektu ukazují, že nedostatek podkladů je nutné nahrazovat řadou individuálních zkoušek, výpočetních analýz a konzultacemi s odborníky od nás i ze zahraničí. Vzhledem k netradičnímu postupu výstavby se veškeré známé skutečnosti pečlivě vyhodnocují a nebezpečné operace se zajišťují několikanásobně, aby se riziko vzniku nepředvídaných okolností snížilo na minimum. K tomu byla hned zpočátku zpracována za pomoci Prof. Tichého matice nebezpečí, jejímž cílem bylo identifikovat nejrizikovější činnosti. Nutnou podmínkou úspěšného dokončení projektu je dosud vynikající spolupráce mezi účastníky výstavby od investora přes projektanta až po subdodavatele a další organizace, jako např. Povodí Vltavy, bez které by se ani běžné problémy v krátkém časovém úseku nedaly řešit.

Při výstavbě byly využity poznatky získané při řešení grantových projektů GAČR č. 103/99/0734, 103/00/0615 a 103/99/0122.

deviances in volume of concrete by individual segments did not exceed, 1,3 %, usually 0,6 %. These parameters are remarkably better than standard regulations allow. Volume weight of concrete displayed the largest deviance. Fully concreted first tunnel in the dry dock can be seen in Fig. 3.

6. CONSTRUCTION PARTICIPANTS

Dopravní podnik hl. m. Prahy (the Prague Transportation Company Inc.) is the owner of the entire construction. It is represented by IDS a.s. The project documentation is being elaborated by Metroprojekt a.s. Metrostav a.s. is the general contractor for the entire line while the section 02 - underpass below Vltava - is supplied by Metrostav, Division 6. Zakládání staveb a.s. significantly cooperates in the 02 section as a subcontractor for works connected with mining in water and fixation of the tunnel in the ultimate position. VSL company cooperated in development and realization of the dragging mechanism. With regards to exceptionality of the construction, a Technical council on the level of supplier (i.e. group of professionals representing contractor and designer, independent experts from CR and abroad) was established. The technical council approves concept of solution and supervises the construction's realization.

7. CONCLUSION

The construction is not yet complete, and therefore it is premature to judge the work. Up until now, it can be stated that concreting of the first tube proceeded without remarkable problems with better parameters than expected. So far, experience from development of the project shows that insufficiency of sources has to be replaced by a row of individual tests, calculative analyses and consultations with both domestic and foreign professionals. With regards to unconventional procedure of construction, all known facts are being carefully evaluated and dangerous operations are being secured repeatedly, so that the risk of unexpected circumstances would be reduced to minimum. For that case, an array of danger, whose goal was to identify most risky activities, was elaborated already in the beginning with help of Prof. Tichý. An outstanding cooperation among the construction participants so far, from owner through designer even to subcontractor and other organizations - for instance Povodí Vltavy (The Vltava Basin company), without which not even common problems could be solved in short period of time - is an essential condition for successful completion of the project.

During the construction, a knowledge, acquired by solutions of grant projects of GA CR no. 103/99/0734, 103/00/0615 and 103/99/0122, was used.

ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB

WORLD OF UNDEGROUND CONSTRUCTION

TUNELY NA DÁLNICI MERSIN - ADANA - GAZIANTEP VE VÝCHODNÍM STŘEDOMOŘÍ TURECKA - DODÁVKA ŘÍDICÍHO SYSTÉMU DOPRAVY

TUNNELS ON THE MERSIN - ADANA - GAZIANTEP HIGHWAY IN THE EASTERN MEDITERRANEAN OF TURKEY - SUPPLY OF A TRAFFIC CONTROL SYSTEM

Skupina firem ELTODO zabezpečuje dodávky kompletní technologie pro provoz silničních městských a dálničních tunelů na klíč. Je výrobcem speciálních technologických zařízeni pro řízení a bezpečnost silniční dopravy, jako jsou integrované řídicí systémy s dispečerskými pracovišti, proměnné dopravní značky na principu vláknové optiky, návěstidla všech typů, dopravní řídicí systémy pro křižovatky, SOS skříně a systémy osvětlení.

Významnou exportní zakázkou, realizovanou výrobně firmou ELTODO POWER v roce 1999 a s výstavbou v roce 2000, byla dodávka řídicího systému dopravy pro Správu dálnic Turecké republiky a investora - Ministerstvo veřejných prací a osídlení Turecké republiky.

Provoz na dálnici v oblasti 4 tunelů, jejichž technologické vybavení bylo tedy i dílem pracovníků firem ELTODO, byl spuštěn již v září roku 2000, před úplným dokončením všech prací na technologii.

Generálním dodavatelem stavby v horském úseku bylo sdružení mohutné turecké firmy TEKFEN a italské IMPRESIT (Fiat Impresit Group), pod inženýrským projektovým vedením sdružení firem TEMAT a DAR AL-HANDASAH CONSULTANTS s konzultační a projektovou přípravou sdružení GEOCONSULT a MAYREDER CONSULT.

Dálnice (tříproudá v obou směrech) představuje významné komunikační propojení středomořské oblasti, poměrně rozvinuté části Turecka a oblasti jihovýchodní Anatolie, sousedící se Sýrií, do jejíhož hospodářského rozvoje investuje turecká vláda velké prostředky. Zřejmě s cílem zajistit v poměrně zaostalých východních oblastech Turecka, s velkým procentem kurdského obyvatelstva, jistý blahobyt jako jednu z překážek možných výbuchů nespokojenosti a především pro rozvoj turistického ruchu dále na východ.

Dálnice stoupá z kilikijské nížiny (od mořské hladiny) průmyslové a zemědělské oblasti Mersinu a Adany, (Adana, 2 mil. obyvatel, město vzdálené vzdušnou cestou 940 km od Istanbulu, do Adany existuje poměrně frekventované letecké spojení) do průsmyku v horách Nur se špičkami vrcholů v nadmořské výšce kolem 2000 m.

Průsmyk je znám ze starověku jako tzv. Ammánská brána. Mimochodem, tímto průsmykem vpadl do zad vojsku Alexandra Makedonského perský Král králů s obrovskou armádou, a to proto, aby utrpěl rozhodující porážku u pobřežního řeckého města Issosu. Tato bitva významně přispěla k rozšíření řecké (na které staví evropská) civilizace do oblasti blízké Asie a Egypta na dobrých jeden a půl tisíciletí.

Dvoutubusové dálniční tunely a několik viaduktů (z nichž největší, s názvem Atatürkův, je délky 800 m výšky 110 m) přivádějí pak dálnici na východ do mírně hornaté krajiny podél syrské hranice, dnes zatím k městu Gaziantep. Dálnice v oblasti tunelů je navržena pro rychlost vozidel 90 km/hod, přičemž vzhledem k panujícím silným větrům při výjezdu z oblasti tunelů směrem k městu Gaziantep je jízda na úbočí hor dosti nebezpečná, přestože jsou na viaduktech instalovány protivětrné zábrany.

Tunely Tasoluk (320 m), Ayran (450 m), Kizlac (2800 m) a Aslanli (1240 m) spolu s předpolími, v nichž byly instalovány portály pro dopravní značení, představovaly liniovou stavbu o celkové délce 19 km, což kladlo vysoké nároky na dopravní obsluhu během výstavby.

Rozsáhlý řídicí systém (s celkem 20 000 proměnnými hodnotami) byl pracovníky firmy ELTODO DOPRAVNÍ SYSTÉMY navržen a programově řešen podle požadavků tendru, zpracovaného rakouskými konzultačními firmami, na bázi volně programovatelných stanic General Electric - Fanuc řady 90-30. To představovalo výrobu skříní řídicího systému pro 106 stanic, instalaci s propojením vlastních stanic pro každý tunel kruhovou datovou sběrnicí a napojení na centrální řídicí systém technologie, dodávaný rakouskou firmou TESSAG jako hlavním dodavatelem technologických zařízení, s instrumentací a standardním programovým dílem rakouské firmy SAT.

Dálkové ovládání koncových jednotek řízení dopravy, monitoring a synchronizace blikačů řízení dopravy byly provedeny datovou dvoudrátovou sítí Echelon v technologii LonWorks®, přinášející významné úspory kabeláže díky sériové komunikaci.

Dále uvedená zařízení byla instalována a uvedena do provozu za 10 měsíců roku 2000, přičemž na stavbě se vystřídalo pouze 7 pracovníků firem ELTO-

A group of companies ELTODO provides turnkey supplies of complete equipment for operation of urban and highway road tunnels. It produces specialized technological equipment for control and safety of road traffic, such as integrated controlling systems with operating workplaces, variable traffic signs on the principle of fibrous optics, all types of signaling, traffic control systems for crossroads, SOS boxes and illumination systems.

A supply of traffic controlling system for Administration of Highways of Turkey and for the owner Ministry of Public Works and Urbanization of Turkey, was a significant export case. The production was realized by the ELTODO POWER company in 1999, with installation in the year 2000.

Operation on the highway in the area of 4 tunnels, whose technological equipment had even before been a work of the ELTODO companies' employees, was commenced already in September 2000, before full completion of all works on equipment.

Association of a giant Turkish company TEKFEN and Italian IMPRESIT (Fiat Impresit Group), under engineering project leadership of the TEMAT and DAR AL-HANDASAH CONSULTANTS joint venture, and with the consultation and design preparation by association of GEOCONSULT and MAYREDER CONSULT, was the general contractor for the mountain section.

The highway (3 lanes in each direction) introduces a significant communication link of the Mediterranean area, relatively developed part of Turkey, with the regions of southeastern Anatolia, neighboring with Syria, into whose economic development Turkish government invests large financial means. Obviously with a goal to ensure a certain prosperity in relatively poor regions of eastern Turkey with high percentage of Kurdish population, also as an obstacle for possible riots of discontent and especially for development of tourism further towards east.

The highway ascends from the Kilikian lowlands (from the sea level), industrial and agricultural region of Mersin and Adana (Adana, 2 mil. inhabitants, city app. 940 km air distance from Istanbul, there is a relatively frequent airway connection) up to pass in the Nur mountains with tops of app. 2000 m above the sea level.

The pass is known from antique as the so-called Amman Gate. By the way, the Persian King of kings with his gigantic army used this pass to ambush the army of Alexander of Macedonia in order to be ultimately defeated by the Greek coastal city of Issos. This battle significantly contributed to the spread of the Greek civilization (on which the European builds) into the region of Middle East and Egypt for about fifteen hundred years.

Double-tube highway tunnels and few viaducts (from which the largest, Atatürk's, is 800 m long while 110 m high) then bring the highway towards east into a slightly mountainous land along the Syrian border, today so far to the city of Gaziantep. Highway in the area of tunnels is designed for vehicle speed of 90 km/h, while regarding the prevailing strong winds by exit from the area of tunnels towards the city of Gaziantep, drive along the hillsides is very dangerous, although there are windbreakers installed on the viaducts.

The tunnels Tasoluk (320 m), Ayran (450 m), Kizlac (2800 m) and Aslanli (1240 m) together with their pre-portal sections, in which the gantries for traffic signals were installed, presented a line construction with the total length of 19 km, which placed significant requirements on haulage services during the construction.

Extensive controlling system (with altogether 20 000 variable values) was designed and software solved by employees of the ELTODO DOPRAVNÍ SYSTÉMY company according to the tender requirements, elaborated by Austrian consulting companies, on the basis of freely programmable stations General Electric - Fanuc series 90-30. That meant a production of boxes of controlling system for 106 stations, installation with connection of the individual stations in each tunnel to a data collector as well as connection to a central system of the equipment control, supplied by the Austrian company TESSAG as a main supplier of the technological facilities, with instrumentation and standard programming work of the Austrian company SAT.

Remote control of terminal units of the traffic control, monitoring and syn-

DO včetně 2 programátorů. Práce probíhaly za dosti obtížných klimatických podmínek, s teplotami ve stínu až 48 °C a s obvyklými problémy velké stavby. Velká část mechanických instalací byla provedena tureckými dělníky v kooperaci s adanskou firmou EMTA, která se rovněž podílela na dodávce dalších prací pro dodávky technologie. Pro přiblížení náročnosti provedených prací je vhodné alespoň vyjmenovat instalovaná zařízení:
- 397 proměnných dopravních značek na principu vláknové optiky - třísymbolové značky pruhové signalizace (zelená dolů směřující šipka, žlutá šipka doleva nebo doprava, červený kříž) a čtyřsymbolové značky omezení rychlosti vozidel (90, 70, 50 a 30 km/h). Všechny značky byly rozměrů 76 x 76 x 22 cm, s hmotností 28 kg, v provedení pro dané podmínky s teplotou okolí 45 °C a vysokou sluneční radiací, s možným zatížením větrem o rychlosti 45 m/sec, stupněm krytí IP 65. Montáž byla prováděna na portály, přemosťující vždy jeden směr dálnice, s dopravním profilem výšky 5 m;
- 132 návěstidel pruhové signalizace pro umístění pod stropem tunelových tubusů - speciální konstrukce tříkomorových návěstidel s IP 65, osazených signálními dvouvláknovými žárovkami firmy OSRAM;
- 52 světelných informačních dopravních značek - telefon a nouzový východ - pro umístění na stěnách tunelů nad skříněmi SOS, s dvoustranným prosvětlením a stupněm krytí IP 65;
- 80 třípojmových dopravních návěstidel (semaforů) velkého rozměru (300 mm), se stupněm krytím opět IP 65, osazených dvouvláknovými žárovkami;
- 132 indukčních smyček v tunelech (v zářezech vozovky), se speciálními jednokanálovými detektory pro sběr a vyhodnocení dopravních dat;
- 250 varovných blikačů pro umístění nad proměnnými značkami pruhové signalizace na portálech;
- 47 skříní řídicího systému k zabudování do distribučních budov, umístěných v blízkosti vjezdů a výjezdů z tunelů, s ručním ovládáním všech koncových jednotek a signalizací jejich stavu a typu případných poruch, se zobrazováním všech dopravních dat a zajištěním napájecích systémů koncových jednotek;
- 22 skříní detektorů dopravních dat pro identifikaci obsazenosti indukčních smyček, třídy vozidel (nákladní nebo osobní) a měření počtu a rychlosti projíždějících vozidel, se sériovým propojením (LonWorks®) s řídicími systémy GE-Fanuc;

chronization of traffic control blinkers were realized using a double-wire data network Echelon in the LonWorks® technology, bringing significant savings in of cables thanks to serial communication.
Further mentioned facilities were installed and put into operation in 10 months of the year 2000, while only 7 employees of the ELTODO company, including 2 programmers, alternated on the operations. The works advanced in relatively complicating climatic conditions with temperatures even 48°C in shade as well as with usual problems of a large construction. Majority of mechanical installations was realized by Turkish workers in cooperation with the EMTA company from Adana, which also took part in other works on the supplies of equipment. In order to illustrate the exactness of realized works, it is suitable to at least name the installed equipment :
- 397 variable traffic signs on the principle of fibrous optics - three-symbol signs of lane signalization (green arrow pointing downwards, yellow arrow left or right, red cross) and four-symbol signs of vehicle speed limitation (90, 70, 50, 30 km/h). All the signs had sizes of 76 x 76 x 22 cm, weight 28 kg. They were designed for the given conditions of ambient temperature of 45°C and high sun radiation, with possible loading by wind velocity of 45 m/sec, a level of protection IP 65. Assemblage was realized on the gantries, spanning always only one highway direction, with a traffic height clearance of 5 m;
- 132 signs of lane signalization for placement beneath the ceiling of tunnel tubes - special constructions of three-chamber signs with IP 65, equipped with signal double-fiber light bulbs by the OSRAM company;
- 52 luminous information signs - Phone and Emergency exit for placement at the tunnel walls above the SOS boxes, with both sides luminating, and protection level IP 65;
- 80 three-mode traffic lights of a large size (300 mm), again with a protection level IP 65, equipped with double-fiber light bulbs;
- 132 induction loops in tunnels (in roadway grooves), with special single-channel detectors for collection and processing of traffic data;
- 250 warning blinkers for placement above the variable signs of lane signalization on the portals;
- 47 boxes for the controlling system to be built into the distribution buildings, located in the vicinity of accesses and exits of the tunnels, with a manual control of all terminal units and signalization of their status and type of



Obr. 1 Vjezd do tunelu Aslanli ve směru na Gaziantep po uvedení systému do provozu
Fig. 1 Access into the Aslanli tunnel in the direction towards Gaziantep after putting the system into operation



Obr. 2 Mechanická montáž proměnných dopravních značek na portál
Fig. 2 Mechanical installation of variable traffic signs on the gantry



Obr. 3 Příprava mechanické montáže proměnných dopravních značek na staveništi
Fig. 3 Preparation of the mechanical assemblage of the variable traffic signs at the construction site



Obr. 4 Příprava k instalaci skříněk řídicího systému na stavebním dvoře
Fig. 4 Preparation for installation of boxes of the controlling system at site facility

- 602 skříněk pro řídicí a napájecí systémy koncových jednotek, provedení skříněk polyester za tepla tvářený, zpevněný skelnými vlákny, IP 66, materiál odolný ultrafialovému záření (UV);
- upevňovací konstrukce z titanové nerezové oceli pro všechny koncové jednotky, pro instalaci na portály a na stropy a stěny tunelových tubusů;
- flexibilní kabelové chráničky pro venkovní instalace všech kabelů, datových i napájecích, odolné UV záření.

Systém řízení dopravy byl uveden do kompletního provozu a předán zákazníku koncem listopadu 2000 a slouží úspěšně k řízení dopravy především při mimořádných dopravních situacích, jako jsou např. požár, dopravní nehody, uvíznutá vozidla a omezení provozu při provádění údržbových prací atd. Průjezd oblastí tunelů je zakázán pro cisternová vozidla, přepravující hořlaviny, která se nadále plazí po úzké horské silnici a představují, vedle místní osobní a autobusové dopravy, hlavní dopravní zátěž původních vozovek, protože železniční spojení směrem na východ je dosud kapacitně naprosto nedostatečné.

Provoz na otevřené dálniční spojce s jihovýchodní Anatolií není samozřejmě takový, na jaký jsme zvyklí např. z našeho území. Půl milionu vozidel v jednom směru za 6 měsíců provozu nepředstavuje téměř žádné dopravní zatížení tříproudé dálnice, avšak dálnice, oproti původnímu stavu, bezesporu významně přispívá k bezpečnosti provozu, ke snížení negativního ovlivňování životního prostředí, ke snadné dopravní dostupnosti horní Mezopotamie (Meziříčí - mezi horními toky řek Eufrat a Tigris) pro její hospodářský rozvoj a v budoucnu jistě k rozvoji turistického ruchu.

Rozvoj turistiky samozřejmě vyžaduje i další rozvoj infrastruktury, což je jistě pouze otázkou krátkého času. Přesto je možno čtenáři doporučit provedení prohlídkové jízdy oblasti tunelů na dálnici Adana - Gaziantep, kterou může spojit s prohlídkou mnoha turistických cílů, které jistě stojí za to. Namátkou je možno jmenovat města Sanliurfa (starověký Ur) a Harran - rodiště a místo pobytu biblického praotce Abraháma před odchodem do země zaslíbené, památky na chetitskou civilizaci a oblázkovou pyramidu a obrovské sochy na Nimrodově hoře, které jsou, vedle 7 starověkých, počítány mezi divy světa. Pyramida je vysoká jen 150 m a hlavy soch jen 2 m, ale jsou na vrcholku hory vysoké 2150 m. Turecko je doslova zaplněno skutečně hodnotnými a úžasnými památkami, dokonce s mírným přeháněním se dá říci, že celé území Turecka je vlastně muzeum lidské civilizace.

K tomu je možno konstatovat, že pracovníci skupiny firem ELTODO s potěšením přijali možnost podílet se na budování jedné z příjemných cest v tomto muzeu a k tomuto cíli vyvinuli maximální úsilí.

possible defects, with illustration of all traffic data and provision of power feeding systems for terminal units;
- 22 traffic data detector boxes for identification of occupation of the induction loops, vehicle types (cargo or personal) and measurement of amount and speed of the passing vehicles, with serial connection (LonWorks®) with the controlling systems GE - Fanuc;
- 602 boxes for controlling and power feeding systems of terminal units; the boxes designed in polyester formed under heat, reinforced with glass fibers, IP 66, material resistant to ultraviolet rays (UV);
- fixing structures from titanium stainless steel for all terminal units, for installation on portals, on ceilings as well as walls of the tunnel tubes;
- flexible conduits for protection of outdoor installations of all cables, both data and power feeding ones, resistant to UV radiation.

The system of traffic control was put into complete operation and handed over to the customer by the end of November 2000 and serves successfully to traffic control especially by extraordinary traffic situations, such as fire, traffic accidents, stuck vehicles or space limitation due maintenance works etc. There is a ban on passage through the tunnel area for tank trucks carrying flammables, which further crawl along the narrow mountainous road and thus present, beside the local personal and bus traffic, the main traffic burden of the former roads, because regarding capacity the railway connection in the eastern direction is still absolutely insufficient.

There is naturally no traffic at the open highway link with southeastern Anatolia as we are used to, for instance in our country. Half a million vehicles in one direction in 6 months of traffic presents basically no traffic burden on a three-lane highway, however, contrary to the former condition, it no doubt significantly contributes to the safety of traffic, to reduction of negative impact on the environment as well as to easier traffic accessibility of the upper Mesopotamia (between upper streams of the Euphrates and Tigris rivers) for its economic development and in the future certainly to development of tourism as well.

The development of tourism naturally requires also further development of the infrastructure, which is certainly only a matter of short time. Still, it is possible to recommend a sightseeing tour through the area of tunnels on the Adana - Gaziantep highway, which can be linked to a tour to many tourist destinations, which are certainly worth visiting. Let us name for instance the cities Sanliurfa (ancient Ur) and Harran - birthplace and place of stay of the biblical forefather Abraham before departure to the promised land, reminders of a Chetitic civilization, pebble pyramid and the giant sculpture on the Nimrod mountain, which are, next to the seven ancient ones, counted among the world wonders. The pyramid is only 150 m high and sculpture heads only 2 m, but they reside on a mountaintop, 2150 m high. Turkey is literally glutted with really valuable and wondrous monuments, perhaps with a slight exaggeration, we can claim that the entire country of Turkey is a museum of human civilization.

It is possible to add that employees of the group of companies ELTODO with pleasure accepted the possibility to take part in a construction of one of pleasant roads within this museum and put in their best effort in order to achieve this goal.

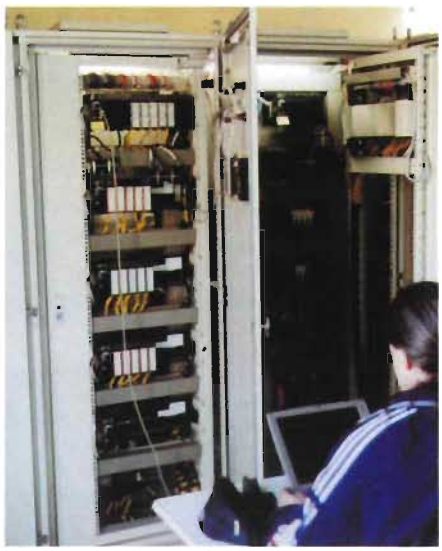
Ing. Karel Kraus, ELTODO DOPRAVNÍ SYSTÉMY, s. r. o.
technický vedoucí projektu a stavby
Project site manager



Obr. 5 Oživování funkce koncových jednotek na portále
Fig. 5 Activation of functions of the terminal units on the portal



Obr. 6 Pracoviště programátora v ubytovacím zařízení
Fig. 6 Workplace of a programmer within the accommodation facility



Obr. 7 Oživování řídicího systému
Fig. 7 Activation of the controlling system

JUBILEA

JUBILEES

75 LET FIRMY STAVEBNÍ GEOLOGIE - GEOTECHNIKA, a. s.

V letošním roce se největší česká geotechnická firma dožívá 75 let. Její začátky sahají až do roku 1926, kdy pozdější akademik Quido Záruba založil první inženýrsko-geologické pracoviště v Československu. O něco později v roce 1929 založil další nestor československé geotechniky profesor Alois Myslivec v Praze-Podbabě první československé laboratoře mechaniky hornin.

Obě pracoviště dala základ mezinárodně uznávané škole československé inženýrské geologie a geotechniky. Po válce oba odešli na vysoké školy a vychovali celou řadu dalších světově uznávaných specialistů, z nichž většina prošla naší firmou, jejíž vznik byl dílem mimořádné aktivity obou výjimečných osobností.

Přestože firma prodělala komplikovaný vývoj plný zvratů, vždy v něm zůstával stálý kádr, který se postupně rozrůstal a rozšiřoval o další odbornosti. Postupně tak shromažďoval neocenitelné zkušenosti a poznatky, které předával dalším generacím geologů a geotechniků. To umožnilo vznik v Československu jedinečného geotechnického pracoviště s vysokou mezinárodní úrovní, kterou rozvíjí až do dnešních dnů.

V roce 1954 se z tohoto základu konstituovalo moderní komplexní pracoviště, které pod názvem Ústav stavební geologie sdružovalo všechny nezbytné odbornosti potřebné k řešení nejnáročnějších úkolů výstavby. Toto velmi příznivé organizační uspořádání však skončilo v r. 1958 vyjmutím geotechnické odbornosti z působnosti Ministerstva stavebnictví a jejím zařazením do Ústředního geologického úřadu, kde dominovala geologie ložisek nerostných surovin. K určitému zlepšení došlo v roce 1968, kdy po dalších organizačních změnách vzniká specializovaný n. p. Stavební geologie Praha. Ten však vedle odborných pracovišť zahrnoval i provozy pro práce odkryvné a vrtné.

Teprve založením Stavební geologie - GEOTECHNIKA, a. s., k 1. 7. 1991 a jejím vyčleněním ze Stavební geologie, s. p., Praha se organizační struktura vrací k ve světě osvědčenému uspořádání. To spočívá v absolutní nezávislosti odborných konzultantských geotechnických pracovišť na firmách zajišťujících práce vrtné a odkryvné nebo dokonce stavební nebo projekční. Tím jsou vytvořeny podmínky pro důsledné hájení ekonomických zájmů objednatelů a další zvyšování kvality poskytovaných odborných služeb.

Stavební geologie - GEOTECHNIKA, a. s., prováděla inženýrskogeologické a geotechnické práce pro většinu důležitých staveb realizovaných v České republice. Její specialisté se rovněž zúčastnili množství významných projektů v zahraničí ať už jako experti, poradci mezinárodních organizací, nebo jako odpovědní geologové či vedoucí komplexních zahraničních geotechnických zakázek.

Výčet podzemních staveb, na kterých se zúčastnili pracovníci bývalé Stavební geologie i dnešní Stavební geologie - GEOTECHNIKA, a. s., je velmi dlouhý.

Už firma Záruba-Pfeffermann byla realizátorkou dlouhých slovenských tunelů, stavěných za 1. republiky. Z významných českých tunelů lze uvést tunely Vinohradské v roce 1933 nebo předválečné průzkumy pro pražské metro. Po druhé světové válce to byly mimo jiné účasti na průzkumu a sledování tlakových štol a kaveren pro přečerpávací elektrárny Černý Váh, Dlouhé stráně, kaverna na Lipně. Klíčovým dílem pro Prahu byl tlakový přivaděč pitné vody Želivka. Následovaly geotechnické dozory pro velké kanalizační sběrače, například Ústí n. L., Hradec Králové a Kolín.

Významné byly rovněž zahraniční zakázky, např. průzkumy pro podzemní kaverny v Peru (Machu Picchu, Mantaro) pro tunel Zahho v Iráku nebo komplexní průzkum pro energetické využití Qattarské deprese v Egyptě.

Stavební geologie - GEOTECHNIKA, a. s., také prováděla geologické průzkumy pro všechny trasy pražského metra včetně trasy IVC, která je v současné době ve výstavbě.

Zcela mimořádným dílem byl geologický průzkum a geotechnický dozor nad výstavbou ve světě unikátního podzemního zásobníku plynu u Příbrami s objemem 600 tis. m³ v hloubce 1000 m pod povrchem.

V současné době je těžiště činnosti specializovaných pracovišť firmy na dálničních a železničních tunelech. Jedná se o tunel Mrázovka (monitoring a supervize), trasa metra IVC (monitoring a supervize), železniční tunel Kralupy (monitoring a supervize), železniční tunel Březno (monitoring a supervize), supervize průzkumu pro přestavbu železničního uzlu Praha a tunel Dobrovského Brno (účast na monitoringu).

Doc. Ing. Alexandr Rozsypal, CSc. - Stavební geologie - Geotechnika, a. s.

75 YEARS OF THE ENGINEERING GEOLOGY - GEOTECHNIKA INC. COMPANY

The largest Czech geotechnical company this year reaches 75 years. Its beginnings go back to the year 1926, when a later academician Quido Záruba founded its first engineering-geological workplace in Czechoslovakia. Some time later in 1929, another patron of the Czechoslovakian geotechnics professor Alois Myslivec founded the first Czechoslovakian laboratories for rock mechanics in Prague - Podbaba. Both workplaces laid ground for internationally recognized school of the Czechoslovakian engineering geology and geotechnics. After the war they both went to universities to raise an entire row of other of globally recognized specialists, from which the majority has gone through our company, whose foundation had been a product of extraordinary activity of the two exceptional personalities.

Although the company has gone through a complicated development, full of twists, there has always remained a permanent staff, which gradually began to grow and extend with other professions. The staff has thus been collecting invaluable experience as well as knowledge, which then passed on other generations as geologists and geotechnicians. That allowed origination of in Czechoslovakia unique geotechnical workplace with a high international level, which has been maintained up until these days.

In 1954, a modern complex workplace, which under the name of Institute of engineering geology associated all essential professions needed for solutions of most demanding construction tasks, constituted from the aforementioned basis. This very favorable administrative order, however, ended in 1958 by exclusion of the geotechnical professions from sphere of activity of the Ministry of Building and their consequent inclusion under the Central geological office, where the geology of mineral deposits prevailed. Some improvement occurred in 1968, when following other administrative changes a specialized national company Engineering geology Prague was established. Nevertheless, beside the professional workplaces it also contained divisions for uncovering and drilling works.

Only by foundation of the Engineering geology - Geotechnika Inc. as of July 1, 1991 and its exclusion from the national company Engineering geology Prague, the administrative structure returns to globally attested order. That lies in ultimate independence of the professional consulting geotechnical workplaces on companies providing uncovering or drilling works or even engineering or designing works. Thus, conditions for consistent defense of economic interests of the clients and for further improvement of quality of the provided professional services have been created.

Engineering geology - Geotechnika Inc. realized engineering-geological and geotechnical works for the majority of important structures in the Czech republic. Its specialists also participated at a number of significant projects abroad as experts, advisors of international organizations or as responsible geologists and project managers of complex foreign geotechnical projects.

The list of underground structures, at which employees of the former Engineering geology as well as current Engineering geology - Geotechnika Inc. participated, is very long.

Already Záruba-Pfeffermann company had been the constructor of some of long tunnels in Slovakia, constructed during the First Republic. From significant Czech tunnels, we can mention the Vinohradský tunnel in 1933 or prewar explorations for the Prague subway. Following the World War II, beside other, it was participation in exploration and supervision of pressure adits and caverns for pumping power plants Černý Váh, Dlouhé Stráně, cavern at Lipno. The pressure feeder of drinking water Želivka was the essential work for Prague. Geotechnical supervisions at large sewer interceptors, for instance Ústí n. Labem, Hradec Králové, Kolín, followed.

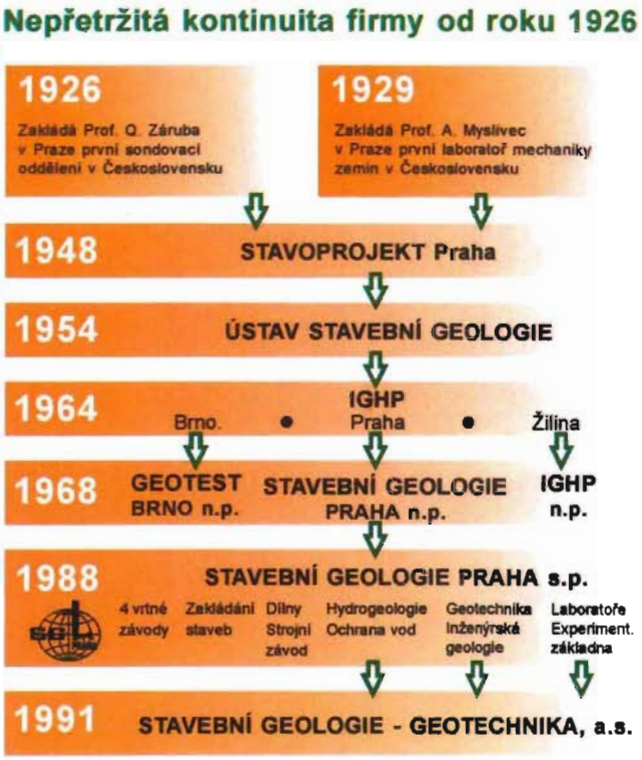
Foreign orders, for instance exploration for underground caverns in Peru (Macchu Picchu, Mantaro) and tunnel Zadho in Iraq, or complex exploration for power-related use of the Qattar depression in Egypt, have also been significant. Engineering geology - Geotechnika Inc. was also consistently realizing geological exploration for all routes of the Prague subway, including the IV C line, which is currently under construction.

A geological exploration and geotechnical supervision of construction of the, in the world rather unique, gas storage near Příbram with volume of 600 000 m³ in depth of 1000 m beneath the surface, was an absolutely exceptional work.

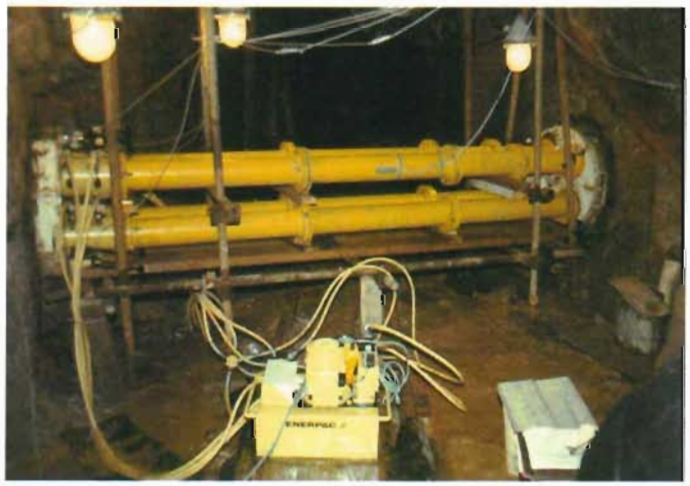
Currently, center of activity of the company's specialized workplaces lies at highway and railway tunnels. It concerns the Mrázovka tunnel (monitoring and supervision), IV C subway line (monitoring and supervision), railway tunnel Kralupy (monitoring and supervision), railway tunnel Březno (monitoring and supervision), superivsion of exploration for reconstruction of the railway system in Prague and Dobrovského tunnel in Brno (participation in monitoring).



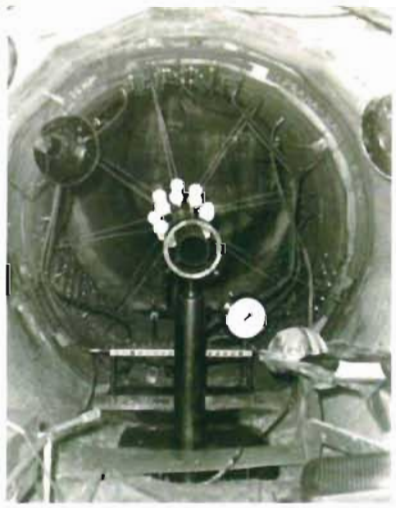
Obr. 1 Sondovací práce pro II. železniční tunel na Vinohradech (1933)
Fig. 1 Exploratory works for II. Vinohrady railway tunnel (1993)



Obr. 3 Nepřetržitá kontinuita firmy od roku 1926
Fig. 3 Uninterrupted company's continuity since 1926



Obr. 5 Výzkum stabilitních problémů lomů při úpatí Krušných hor - mohutná rozpěrná zkouška ve štole Jezeří (1981)
Fig. 5 Research of stability problems of mines by bottom of Krušné mountains - extensive strutted-plate-bearing test in the Jezeří adit (1981)



Obr. 2 Tlaková zkouška s plochými lisy ve štole Černý Váh (1969)
Fig. 2 Pressure test using flat jacks in the Černý Váh adit (1969)



Obr. 4 Průzkum pro pražské metro v roce 1972 - přechod trasy A pod Vltavou
Fig. 4 Exploration for the Prague subway in 1972 - underpassage of the A line below the Vltava



Obr. 6 Monitoring při výstavbě železničního tunelu Kralupy v rámci modernizace I. železničního tranzitního koridoru (2001)
Fig. 6 Monitoring during construction of the Kralupy railway tunnel within the frame of modernization of the I. railway transit corridor (2001)

TECHNICKÉ ZAJÍMAVOSTI

TECHNICAL MATTERS OF INTEREST

MODIFIKACE NOVÉ RAKOUSKÉ TUNELOVACÍ METODY

V květnovém a v červnovém čísle časopisu Tunnels and Tunnelling International uveřejnil Prof. Dr. Ing. Bernhard Maindl z Ruhrské univerzity v Bochumu článek o rozvoji výše uvedené metody při jejím uplatnění na stavbách železničních tunelů v Německu.
Autor nejprve uvádí, že naprostá většina železničních tunelů v Německu je realizována metodou stříkaného betonu - tak je v Německu označována metoda NRTM (v tomto textu uvádím dále označení NRTM). Je to dáno jednak velikostí příčného profilu raženého výrubu (většina železničních tunelů je dvoukolejná; to by vyžadovalo příliš velké průměry štítů) a dále tím, že NRTM umožňuje flexibilitu vzhledem k měnícím se geotechnickým podmínkám a je výhodná i z hlediska nasazení mechanizmů a možnosti manipulace s rubaninou i materiálem potřebným pro realizaci primárního (posléze i definitivního) ostění (logistika).
Článek systematicky popisuje modifikace NRTM v souvislosti s různými geotechnickými podmínkami. Hlavní zajímavostí pro nás by mohla být modifikace vodorovného členění výrubu s dílčím členěním kaloty, při kterém se vytváří střední část primárního ostění klenby kaloty se zvýšeným vyztužením. Tato modifikace zajišťuje snížení deformací a to vytvořením podélného zesíleného vyztužení v klenbě i celkovým podélným účinkem uzavřeného primárního ostění v předstihu ražené střední části kaloty. Modifikace odstraňuje nevýhody zvykově preferovaného svislého členění, při kterém se nejprve razí boční štoly (tzv. "gotika"). Navíc její předpokládané použití může být vzato v úvahu při řešení a umístění průzkumné štoly.
Následuje stručný obsah článku, podrobněji je uveden popis výše zmíněné modifikace NRTM:
Modifikace NATM jsou v článku uvedeny podle členění výrubu v závislosti na geotechnických poměrech. Členění výrubu je samozřejmě závislé i na velikosti celkového raženého průřezu tunelu a u větších průřezů se výrub i ve stabilních podmínkách člení z důvodů technologických (možnosti nasazené mechanizace ap.). Při volbě modifikace metody NRTM a členění výrubu se musí brát také na zřetel náklady spojené s předpokládanou nebo vynucenou změnou modifikace v průběhu ražby. Je vysledováno, že největší náklady přináší změna z vodorovného členění na svislé členění a obráceně.
Základní vodorovné členění výrubu je výrub kaloty, jádra a spodní klenby (dna). Autor zde rozeznává tři modifikace - první počítá s vyztuženým stříkaným betonem jako se základním prvkem primárního ostění, druhá zahrnuje nutnost zvýšeného podchycení horniny (event. i v předstihu), třetí je založena na vertikálním členění kaloty. U třetí modifikace se v předstihu razí střední část kaloty s uzavřeným primárním ostěním, jehož součástí je vytvoření podélného zesíleného vyztužení v přístropí.
V první modifikaci je primární ostění flexibilní (tj. poměrně poddajné a tenké) a umožní vznik základní deformace horninového masivu, a tím vznik horninové klenby. Ostění je tvořeno stříkaným betonem s ocelovou sítí, ocelovými výztužnými oblouky, radiálními kotvami. Primární ostění kaloty může být podle geotechnických podmínek uzavřeno dočasnou spodní klenbou. Tato modifikace byla použita na tunelu Himmelberg (příčný profil - výška asi 12 m a šířka asi 15 m), kde při ražbě kaloty se použil opěrný horninový klín a dočasná spodní klenba.
V horších geologických podmínkách nebo u tunelů s malým nadložím je nutné zabránit nepřípustně velkým deformacím (není zde zaručeno vytvoření horninové klenby). Primární ostění musí vykazovat větší tuhost a je tedy silnější. Je to druhá modifikace zajišťující podchycení zvýšeného zatížení od nadložních vrstev. Vyznačuje se větším počtem a delšími radiálními kotvami a může podle podmínek zahrnovat provedení opěrné paty ostění kaloty a eventuálně její podepření mikropilotami. Součástí ražby je většinou také jehlování.
Pro ještě horší podmínky byla vyvinuta modifikace třetí, ve které je v předstihu ražena střední část kaloty a v primárním ostění přístropí je vytvářeno podélné zesílené vyztužení - podélný nosník (v článku je použit název modifikace - "roof heading with roof beam"). Česky budeme tuto modifikaci dále pracovně nazývat "střední kalota" (ražba s předstihovou střední kalotou se zesíleným ostěním přístropí). Variantou k této modifikaci mohou být v předstihu v přístropí provedené mikropiloty, trysková injektáž, zaberaněné nebo protlačené vodorovné nosné prvky (ocelové trouby apod.).

Modifikace "roof heading with roof beam" - "střední kalota"

Modifikace byla vyvinuta v roce 1982 pro tunel Westtangente v Bochumu a nyní je používána na tunelu Schulwald (příčný profil - výška asi 12 m, šířka asi 15m) ve velmi drobivé (porušené) a tlačivé hornině, kde nejde otevřít výrub celé kaloty z důvodů stability. Střední kalota zahrnuje asi polovinu šířky celé kaloty a je ražena v předstihu 30 až 40 m před rozšířením výrubu na celou kalotu. Střední kalota se razí na dvě části - horní a dolní, obě s ukloněnou čelbou. Provizorní ostění střední kaloty uzavírá dočasná spodní klenba. Navíc - primární ostění stropu tl. 350 mm je vyztuženo ve třech vrstvách, z nichž jedna vnitřní je tvořena 32 tyčemi betonářské ocelové výztuže délky 5 m. Tím je vytvořeno ve stropě kaloty zvýšené podélné vyztužení výrazně spolupůsobící při snižování deformací (viz obr. 1).

MODIFICATION OF THE NEW AUSTRIAN TUNNELLING METHOD

In the May and July issues of the Tunnels and Tunnelling International magazine, Prof Dr-Ing Bernhard Maidl of the Ruhr-University of Bochum published his paper on development of the above-mentioned method at its application in construction of rail tunnels in Germany.
In the introduction, the author states that the shotcreting method, which is a synonym for the NATM in Germany (the term NATM is further used in this article), is used on a total majority of German rail tunnels being built. This is given both by the size of excavated cross sections (double-track rail tunnels prevail in Germany, which means that too large diameters of shields would be necessary), and by the fact that the NATM allows flexibility needed for excavation in changing geotechnical conditions, and is advantageous even in terms of utilisation of equipment and possibility to handle muck and materials necessary for construction of primary (and subsequently also secondary) lining (logistics).
The article describes in a systematic way the NATM modifications linking to various geotechnical conditions. The main thing, which could be interesting for us, is a modification consisting in horizontal division of the excavated cross section with partial sectioning of the top heading, where a central part of the top heading arch with an additional support is created. This modification ensures a reduction of deformations by creation of an additional longitudinal support at the roof, and by an overall longitudinal effect of a closed primary lining of the in-advance-driven central part of the top heading. This modification eliminates disadvantages of customarily applied vertical sectioning, where side-wall adits are driven first (so called "Gothic"). In addition, its expected application can be taken into consideration when designing and deciding on the position of an exploratory gallery.
A brief description of the article content, with a more detailed description of the above-mentioned NATM modification, follows:
The NATM modifications are divided in the article according to the excavation sequencing, depending on geotechnical conditions. Obviously, the division of excavation also depends on the size of the overall excavated tunnel cross section, and, for larger profiles, the excavation is divided even in stable conditions for technological reasons (parameters of the equipment used etc.). Also the costs connected with an anticipated or forced change of a modification in the course of the excavation must be counted with when a particular NATM modification and the division of the excavated cross section are being selected. It is out of experience that the highest costs result from a change from horizontal to vertical sequencing, and vice versa.
At the basic horizontal sequencing, the excavated cross section is divided into the top, bench and invert. The author distinguishes three modifications. The first one counts with reinforced shotcrete as a basic element of primary lining, the second modification comprises a necessity of additional support of the rock (even in an advance), the third one is based on a vertical division of the top heading. At the third modification, the central part of top heading is driven in advance, with closed primary lining, whose part is an additional longitudinally bearing roof support.
At the first modification, the primary lining is flexible (i.e. relatively yielding and thin), allowing the basic deformation of the rock mass to develop and, in the same time, the rock arch to originate. The lining consists of sprayed concrete with steel mesh, steel support arches, radial anchors. The primary lining of the top heading can be, depending on geotechnical conditions, closed by means of an invert. This modification was used on the Himmelberg tunnel (cross section about 12m high and 15 m wide), where a supporting rock wedge and temporary invert arch were used.
Under worse geological conditions, or at tunnels with shallower overburden, it is necessary to prevent intolerably high deformations from occurring (creation of the rock arch is not guaranteed there). The primary lining has to exhibit higher stiffness, thus it is thicker. This is the second modification, which ensures the support in terms of the increased loading by the overburden layers. It features a higher number and longer length of radial anchors, and can, depending on conditions, contain a construction of abutments under the top heading lining, and, if needed, underpinning with micropiles. Installation of lances is also mostly a part of drifting.
For even worse conditions, there was the third method developed, which consists in driving the central part of the top heading in advance, and creation of an additional longitudinal support - a longitudinal beam in the roof lining (this modification is called "roof heading with roof beam" in the article). In Czech, we will use a working term "central top heading" for this modification (excavation with an advanced central top heading, with strengthened lining of the roof). As a variant of this modification, there can be used micropiles, jet grouting, rammed or jacked horizontal supporting elements (steel pipes etc.) performed at the roof in advance.

Postup ražby a realizace primárního ostění tunelu Schulwald je následující (viz obr. 2):

střední kalota:
• horní část:
- výrub a stabilizační stříkaný beton plochy výrubu (mimo dna) tl. 70 mm
- instalace vnější sítě a výztužného příhradového oblouku
- pokud je zapotřebí - jehlování délky 3 m
- stříkaný beton - strop tl. 250 mm a boky 200 mm
- stropní radiální kotvy 8 až 12 m dlouhé
• spodní část:
- stejný postup jako v horní části, avšak bez jehlování a kotvení
- spodní část se provádí s odstupem jednoho záběru oproti horní části
- druhá vrstva výztuže a dokončení stříkaného betonu na celkovou tloušťku 250 mm
• vytvoření podélného vyztužení (nosníku) v přístropí:
- výztuž vnitřního líce - ocelová síť a 32 prutů betonářské výztuže průměru 20 nebo 15 mm délky 5 m
- dokončení stříkaného betonu stropu na celkovou tloušťku 350 mm

zbytek (krajní části) kaloty:
- výrub levé části a stabilizační stříkaný beton boku a čelby výrubu tl. 70 mm
- osazení vnější sítě a výztužného příhradového oblouku
- výztuž a stříkaný beton opěry (paty) kaloty
- pokud je zapotřebí - jehlování
- stříkaný beton do tl. 250 mm
- provedení radiálních kotev délky 8 až 12 m
- dtto výrub a ostění pravé části, následně opět levé, pak pravé v určených záběrech
- podepření paty kaloty (mikropiloty)
- výztuž vnitřního líce (síť) a dokončení stříkaného betonu na celkovou tloušťku 350 mm
- střídavě odstraňování bočního dočasného ostění střední kaloty

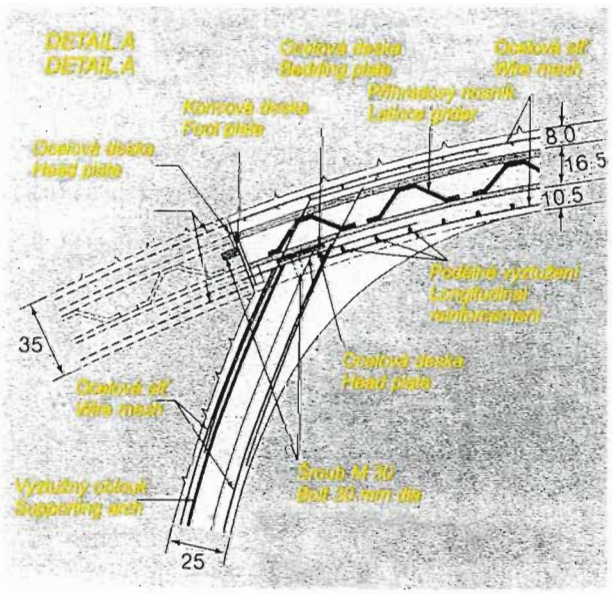
jádro:
- výrub a nástřik stabilizační vrstvy stříkaného betonu - pokud je zapotřebí
- osazení vnější sítě a výztužného příhradového oblouku
- stříkaný beton do tl. 250 mm
- radiální kotvy délky 6 m
- výztuž vnitřního líce a dokončení stříkaného betonu na celkovou tloušťku 350 mm

spodní klenba:
- výrub a nástřik stabilizační vrstvy stříkaného betonu - pokud je zapotřebí
- zřízení drenáže
- osazení vnější výztuže a provedení stříkaného betonu
- osazení vnitřní výztuže a dokončení stříkaného betonu na tl. 350 mm

Střední kalota snižuje plochu ražené čelby a redukuje riziko deformace na čelbě. Při její předstihové ražbě dochází k odvodňování masivu a je umožněno zjištění skutečných geotechnických podmínek. Tak vzniká možnost provést z předstihového tunelu střední kaloty další opatření pro zlepšení podmínek ražby.

Podélné zvýšené vyztužení představuje významný nosný prvek v průběhu ražby bočních částí kaloty. Snižuje sedání a svou únosností podstatně eliminuje největší příčinu celkových deformací. Opěry stropního vyztužení (nosníku) působí v podélném směru jako uzavřený nosný prvek. Později zatížení přejímá stříkaný beton primárního ostění celé kaloty.

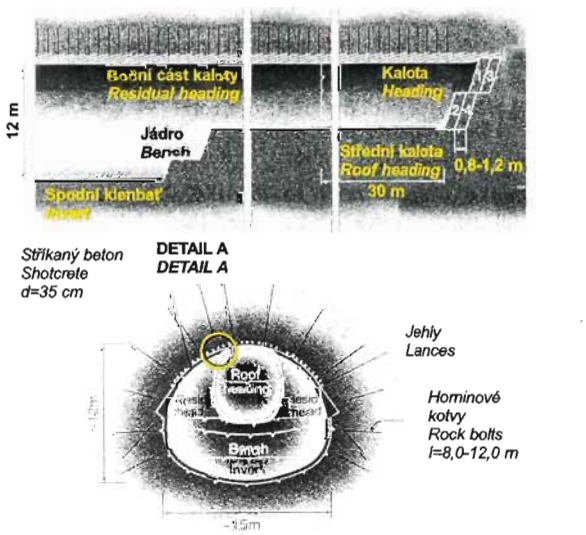
Zbývající dílčí boční výruby kaloty jsou prováděny současně nebo častěji prostřídaně. Opěra primárního ostění kaloty může být vytvořena rozšířenou patou, eventuálně ještě podepřenou (např. mikropilotami), nebo se profil kaloty uzavře dočasnou spodní klenbou. U tunelu Schulwald je pata kaloty samostatně podepřena. Při tomto způsobu výstavby musí být primární ostění uzavíráno co nejrychleji. Proto výrub spodní klenby by měl neprodleně následovat po výrubu jádra.



Obr. 1 Detail primárního ostění střední kaloty
Fig. 1 Detail of primary lining of the central top heading

The "roof heading with roof beam", i.e. "central top heading" modification

This modification was developed in 1982 for the Westtangente in Bochum. Now it is being used on the Schulwald tunnel (the cross section about 12 m high and 15 m wide), in very friable (fragmented) and squeezing rock, where a full-face excavation of the top heading is impossible with respect to the stability. The central top heading covers about a half of the overall width of the top heading. It is driven in an advance of 30 to 40 m ahead of enlargement of the excavation to the full-face top heading. The central top heading is divided into two parts, i.e. the top and bottom part, both of them with bevelled faces. Temporary lining of the central top heading is closed by a temporary invert arch. In addition, the 350 mm thick primary lining of the roof is reinforced with three layers of reinforcement. One of those layers, the inner one, consists of 32 concrete reinforcement bars 5 m long. Thus a strengthened longitudinal support is created at the top heading roof, which contributes significantly in reducing deformations (see Fig. 1).
The Schulwald tunnel is being driven in the following sequence (see Fig. 2):
central top heading:
• top:
- excavation and 70 mm thick stabilisation shotcrete on the face (excepting the floor)
- installation of external reinforcement and a supporting lattice girder
- 3 m long lances as needed
- shotcrete - 250 mm thick on the roof, 200 mm on side walls
- radial anchors 8 to 12 m long at the roof
• bottom part:
- the same procedure as for the top, but without lances and anchoring
- the bottom part is driven at a distance from the top equal to one round length
- second layer of reinforcement and completion of shotcrete to the total thickness of 250 mm
• creation of the longitudinal support (the beam) at the roof:
- inner reinforcement - wire mesh plus 32 concrete reinforcement bars 20 or 15 mm in diameter, 5 m long
- completion of shotcrete at the roof to the total thickness of 350 mm
remaining part (sides) of the top heading:
- excavation of the left-hand part plus 70 mm-thick stabilisation shotcrete on the side wall and face
- installation of external reinforcement and a supporting lattice girder
- reinforcement and shotcrete of the crown foot
- installation of lances as required
- shotcrete up to the thickness of 250 mm
- installation of 8 to 12 m long radial anchors
- ditto for excavation and lining of the right-hand part, followed by the same at the left-hand side, then at the right-hand side, at specified advance lengths
- installation of base support (micropiles)
- inner reinforcement (wire mesh) and completion of shotcrete up to the total thickness of 350 mm
- removal of temporary lining of the central top heading's side walls alternately
bench:
- excavation and spraying of a stabilisation layer of shotcrete, as necessary
- installation of external wire mesh and lattice girder
- installation of internal reinforcement and completion of shotcrete up to the thickness of 350 mm
invert:
- excavation and application of stabilisation shotcrete as required
- installation of drainage
- installation of external reinforcement and application of shotcrete
- installation of inner reinforcement and completion of shotcrete up to the thickness of 350 mm
The central top heading reduces the area of excavated face as well as the risk of deformation at the face. During its excavation performed in advance, the



Obr. 2 Postup ražby tunelu Schulwald
Fig. 2 The Schulwald tunnel excavation procedure

Modifikace umožňuje okamžitou a jednoduchou změnu výrubu plného průřezu kaloty na členěný výrub pomocí střední kaloty a obráceně. Je to velmi adaptabilní technologie ražby a dokáže reagovat na výskyt neočekávaných geotechnických podmínek. Měla by mít přednost před svislým členěním čelby, kde se nejprve razí boční výrubní průřezy, a to hlavně tam, kde se dá očekávat častější změna podmínek pro ražbu a také pro tunelování pod zástavbou, která je citlivá na poklesy.

Modifikace s bočními výruby (štolami) a následujícím výrubem jádra (svislé členění)

Modifikace se uplatňuje v horninách s nízkou pevností, které jsou silně porušené a tlačivé, a to především při působení vysokých vodorovných sil. Byla např. uplatněna na některých úsecích tunelu Himmelberg. Modifikace snižuje poklesy nadloží, boční štoly slouží pro předstihové zjištění skutečných geotechnických podmínek a pro odvodnění masivu. Hlavní nevýhodou jsou obtíže při změně způsobu ražby v souvislosti se změnou geotechnických podmínek. Přechod na pouze vodorovné členění, tj. plný výrub kaloty, a obráceně je drahý, časově náročný a přináší logistické problémy. Měla by se tedy uplatňovat tehdy, když se nepředpokládá změna způsobu ražby v průběhu výstavby tunelu.
Když se na tunelu Himmelberg zlepšily podmínky, přešlo se na vodorovné členění výrubu. Při dalším zhoršení geologie se již uvažovalo, že se použije modifikace se střední kalotou, ale ukázalo se, že podmínky dovolují pokračovat v ražbě s plným výrubem průřezu kaloty.

Závěr

Možnost uplatnění vodorovného členění výrubu se rozšiřuje s využitím modifikace se střední kalotou a samozřejmě s využitím různých systémů ochranných "deštníků" prováděných v předstihu před postupující čelbou výrubu.

Zpracoval/*Treated by*: **Ing Miloslav Novotný**

massif is drained, and real geotechnical conditions can be ascertained. Thus a possibility originates to apply additional measures for improvement of driving conditions from the advancing tunnel of the central top heading.
The additional longitudinal support represents an important bearing element during the work on excavation of side parts of the top heading. It reduces subsidence, and, through its bearing capacity, eliminates significantly the greatest cause of overall deformations. The abutment for the roof beam acts longitudinally as a closed (tube-like) bearing element. Subsequently, the loading is taken over by shotcrete of primary lining of the whole top heading. Remaining partial excavation at the top heading sides is performed at the same time or, more frequently, alternately. The support of the top heading's primary lining can be created by means of a crown foot enlargement, which may be supported (e.g. by micropiles), or the top heading profile is closed by invert. At the Schulwald tunnel, the foot of the top crown is supported independently. If this manner of building is applied, the primary lining has to be closed as quickly as possible. Therefore, the invert excavation should follow immediately after the bench excavation.
The modification allows an immediate and simple transition from a full-face excavation of the top heading to a divided excavation by means of the central top heading, and vice versa. It is a very adaptable excavation technique, which is able to react very quickly to occurrence of unexpected geotechnical conditions. It should be preferred to vertical sequencing of the top heading, where side-walls excavation is performed first, above all there where more frequent changes in excavation conditions are expectable, and also for tunnelling under existing buildings, which are subsidence-sensitive.
Modification with side-walls excavation (adits) followed by bench excavation (vertical sequencing)
This modification is applied in weak rock, which is heavily fractured and squeezing, namely above all when high horizontal forces are acting. It was for example applied on some sections of the Himmelberg tunnel. This modification reduces subsidence of the overburden, side-wall adits are used for determination of actual geotechnical conditions and drainage of the massif. The main disadvantage rests in troubles when the manner of excavation is to be changed due to changing geotechnical conditions. The transition to solely horizontal sequencing, i.e. a full-face excavation of the top heading and vice versa, is expensive, time consuming, and brings logistical problems. For that reason, it should be applied when no change in the excavation manner is expected in the course of the tunnel driving.
When the conditions at the Himmelberg tunnel had improved, a transition to horizontal sequencing took place. When another deterioration of the geology occurred, an application of the modification with the central top heading was considered, but it was found out that the conditions allowed continuation of the drive with the full-face excavation of the top heading.

Conclusion
The possibility of application of horizontal sequencing of excavation is extended with utilisation of the modification with the central top heading, and, of course, with application of various systems of protective "umbrellas" performed in advance of a progressing face of the excavation.

ZPRAVODAJSTVÍ ČESKÉHO TUNELÁŘSKÉHO KOMITÉTU

CZECH TUNNELLING COMMITTEE REPORTS

ZASEDALA PRACOVNÍ SKUPINA PRO STŘÍKANÝ BETON

Dne 28 . 6. 2001 se konala pravidelná čtvrtletní schůzka členů pracovní skupiny pro stříkaný beton, jejíž organizační začlenění spadá pod Český tunelářský komitét. Jednání probíhalo pod patronací Metrostav a. s. - Divize 5. Na schůzku se dostavilo celkem 6 odborných pracovníků.
V první části se ujal slova Ing. Jindřich Hess, který působí v pracovní skupině WG 12 (Shotcrete Use) jako tutor. Seznámil účastníky schůzky s průběhem zasedání této mezinárodní pracovní skupiny při ITA-AITES v rámci konference v Miláně. Dal k dispozici písemné podklady od zástupců jiných zemí: Rock Support Mechanism by Shotcrete Lining od K. Ono a N. Tomisawy a The State of Art of Shotcrete in Italy 2001 od italské pracovní skupiny. Nová aktualizovaná souhrnná zpráva o stavu stříkaného betonu bude vydána animateurem K. Garsholem po dodání dalších národních zpráv a zapracování připomínek nejpozději do mezinárodního tunelářského kongresu v Sydney začátkem března 2002. V závěru vystoupení Ing. Hesse proběhla diskuse související s další činností tuzemské pracovní skupiny, dále pak výměna názorů o širším zastoupením vysokých škol v pracovní skupině i o problematice razicích prací vysokých výkonů a související strojní vybavenosti při aplikaci stříkaného betonu.
Další část schůzky probíhala podle programu navrženého v pozvánce. Novými členy skupiny se stali Ing. Jan Martinec (Metroprojekt) a Ing. Alexander Butovič (Satra). Na příští schůzku budou přizváni zástupci z VUT Brno a VŠB Ostrava.

THE WORKGROUP FOR SHOTCRETE WAS IN SESSION

A regular quarterly session of members of the workgroup for shotcrete, whose administrative integration falls under the Czech tunneling committee, took place on June 26, 2001. Negotiations proceeded under patronage of Metrostav inc. - Division 5. Altogether, 6 professionals attended the meeting. Ing. Jindřich Hess, who works in the WG 12 (Shotcrete use) as a tutor, took word in the beginning. He informed the participants about course of session of this international ITA/AITES workgroup at the conference in Milan. He submitted written sources from representatives of other countries : Rock Support Mechanisms by Shotcrete Lining by K. Ono and N. Tomisawa and The State of Art of Shotcrete in Italy 2001 by the Italian workgroup. New updated summary report on the status of shotcrete will be published by animator K. Garshol, following the delivery of other national reports and elaboration of notifications, no later than the international tunneling congress in Sydney by beginning of March 2002. By conclusion of Ing. Hess's speech, a discussion concerning further activity of the workgroup took place. Moreover, exchange of opinions on wider representation of universities within the workgroup, on problems of excavation works and mechanical equipment for application of shotcrete followed.
Next part of the meeting proceeded according to the program, as proposed in invitation. Ing. Jan Martinec (Metroprojekt) and Ing. Alexander Butovič (Satra) became new members of the workgroup. Representatives of the TU Brno and MU Ostrava will be invited to join the next session.

Byla podána krátká informace o zprávě **Zhodnocení současného stavu SB v ČR**, která byla zaslána K. Garsholovi v dubnu 2001.

Přítomní se dohodli na námětech, které budou členové skupiny blíže sledovat a zpracovávat:
• Rozvinutí a zdokonalení technologie stříkaného betonu mokrou cestou (receptury, přísady, technologie provádění, strojní sestavy a jejich nastavení, metody zkoušení) s rozlišením dle požadavků pro primární a definitivní ostění tunelů.
• Popsání technologie suchého stříkání ve formě tabulkově zpracovaného standardu pro nejpoužívanější aplikace v ČR s cílem sestavit v další etapě základní zásady pro návrh, provádění a zkoušení stříkaného betonu aplikovaného suchou cestou.
• Vypracování doporučení pro specifikaci druhů stříkaného betonu vzhledem k nejběžnějším případům jeho použití i s ohledem na zaváděné evropské normy.
• Sledování a rozpracování problematiky mezilehlé stříkané izolace na podklad ze stříkaného betonu.
• Sledování výstupů pracovní skupiny WG 12 při ITA-AITES. Podle tuzemských zkušeností zasílání příspěvků a připomínek.

Za účasti zástupce vedoucího projektu Ing. Moslera se na závěr někteří členové skupiny účastnili prohlídky členěných čeleb východní tunelové trouby tunelu Mrázovka s aplikací stříkaného betonu suchým způsobem.

Těsně před uzávěrkou tohoto čísla se uskutečnila další schůzka pracovní skupiny na stavbě metra trasy IV C. Snahou členů skupiny bylo provést první kroky k naplňování pracovních cílů uvedených výše. O další činnosti i dílčích výsledcích pracovní skupiny přinese informaci další číslo časopisu Tunel.

*A short information about report on **Evaluation of current status of shotcrete in the CR**, which had been sent to K. Garshol in April 2001.*
Those present agreed on the topics, which are to be closely followed and elaborated by the workgroup members :
• Development and perfection of the technology of shotcrete by wet method (recipes, ingredients, technology of realization, mechanical sets and their setting, methods of testing), with distinction according to requirements for primary and final tunnel lining;
• Description of the technology of dry spraying in form of in charts elaborated standard for the most used applications in CR, in the next step in order to assemble essential principles for proposal, realization and testing of shotcrete applied by dry process;
• Elaboration of recommendation for specification of types of shotcrete, with regards to most common cases of its utilization as well as regarding the implemented European regulations;
• Supervision and further elaboration of the problems of intermediary sprayed insulation applied on shotcrete;
• Supervision of outputs of the ITA/AITES WG 12. According to domestic experience forwarding of contributions and notifications.
Together with deputy project general manager Ing. Mosler, in the end some workgroups members participated at a visit to the eastern tunnel tube of the Mrázovka tunnel, to see divided excavation faces, with application of shotcrete by the dry process.
Closely prior to editorial deadline of this issue, another meeting of the workgroup took place at construction site of the IV. C subway line. It was an effort of the group members to carry out first steps towards fulfillment of the work goals stated above. Next issue of the Tunel magazine will bring information about further activity as well as partial achievements of the workgroup.

Ing. Pavel Polák

INFORMACE PRO ČLENY ČTuK

ZÁPIS ZE ZASEDÁNÍ PŘEDSEDNICTVA ČESKÉHO TUNELÁŘSKÉHO KOMITÉTU ITA/AITES, KTERÉ SE KONALO DNE 4. ŘÍJNA 2001 NA OVOCNÉM TRHU ČP. 573

INFORMATION FOR ČTuK MEMBERS

MINUTES FROM THE CZECH TUNNELLING COMMITTEE ITA/AITES COUNCIL MEETING, OVOCNÝ TRH SQUARE No.573, PRAGUE, THE 4TH OCTOBER 2001

Přítomni: prof. Aldorf, prof. Barták, Ing. Doubek, Ing. Romancov, Ing. Soukup, Ing. Valeš, Ing. Matzner
Omluven: Ing. Hess

PŘÍTOMNÍ OBDRŽELI TYTO PODKLADY K JEDNÁNÍ:

- pozvánku s programem jednání
- záznam z jednání užší RR časopisu TUNEL
- pozvánku GŘ Kapusty na společné zasedání ČTuK a STA v Bojnicích
- rozvahu k čerpání rozpočtu 2001
- návrh rozpočtu 2002 k diskusi

JEDNÁNÍ ŘÍDIL V ZASTOUPENÍ PŘEDSEDY MÍSTOPŘEDSEDA PROF. BARTÁK.

1. Kontrola minulých zápisů (Ing. Matzner)
• Úkoly spojené s WC a GA ITA/AITES v Miláně byly splněny včetně "rozsevu" časopisu TUNEL
• Sekretariáty všech členských zemí ITA/AITES obdržely nabídku k odběru našeho časopisu.
Dosud bez odezvy.
• Valné shromáždění ČTuK se uskutečnilo podle schváleného programu včetně voleb.
• Schůzka s polskou redakcí tunelářského časopisu se konala v září v Ostravě.
• Usnesení valného shromáždění týkající se inzerce v TUNELu je plněno nedostatečně.

2. + 3. Přivítání nových členů předsednictva a projednání návrhu na rozdělení kompetencí mezi členy předsednictva (Prof. Barták)
Novými členy se stali Ing. Romancov a Ing. Soukup. Po přivítání byla projednána dělba práce mezi členy předsednictva. Návrh uvedený v programu byl přijat s následujícími doplňky:
Prof. Aldorf: styk s příbuznými společnostmi, studentské soutěže Doporučuje se zopakovat některé společné akce
Prof. Barták: místopředseda pověřený řízením organizačního výboru tunelářských konferencí Podzemní stavby Praha
Ing. Doubek: hospodaření ČTuK
Ing. Romancov: zástupce předsednictva v redakční radě časopisu TUNEL
Ing. Soukup: sledování a uplatňování technického rozvoje podzemních staveb, předávání informací ve spolupráci s redakcí časopisu TUNEL, prezentace na tunelářských konferencích
Ing. Valeš: činnost WG ITA/AITES a pracovních skupin ČTuK. Ověří u našich zástupců ve WG, zda budou v činnosti pokračovat, respektive navrhne doplnění. Doc. Ing. Rozsypal bude jmenován jako člen korespondent do WG 2 - Research.

4. Zpráva o stavu hospodaření ČTuK v roce 2001 a výhled na rok 2002 (Ing. Doubek)
Z předaných materiálů vyplývá, že
rozpočet letošního roku bude dodržen díky plánovanému převisu příjmů z konference PS Praha 2000
současný stav finančních prostředků na b.ú. je kritický v důsledku neuhrazených faktur - pohledávky k 30. 9. činí 641,9 tis. Kč, z toho 410 tis. dluží STA, Amberg 77,6 tis. Kč. Bez úhrady těchto částek se dostaneme koncem roku do platební neschopnosti, respektive nemáme na úhradu nákladů na 4. číslo časopisu TUNEL. Na písemné urgence dlužníci nereagovali. Předseda STA přislíbil úhradu po konferenci v Prievidzi. Dlužné částky Vodních staveb za rok 2000 a 2001 se podařilo získat formou postoupení pohledávek. RR časopisu projednala situaci separátně - viz záznam z jednání
byl projednán dopis předsedovi představenstva Amberg Ing. Horákovi, který sekretariát odeslíá. Prof. Barták přislíbil osobní intervenci pro návrh rozpočtu na rok 2002 byly zváženy různé alternativy řešení finančních zdrojů. Bylo doporučeno trvat na usnesení VS, aby každá členská organizace zajistila v roce alespoň dva inzeráty. Dále byl zpracován návrh na zvýšení ročních částek za poradenství takto: skupina A: + 5 tis., B: +12 tis., C: +7 tis., D: +4 tis. Kč. Tento návrh bude předložen k připomínkám a schválení na pracovním shromáždění ČTuK v listopadu t. r. V návrhu rozpočtu na rok 2002 se počítá i předstihovými náklady na konferenci ve výši 100 tis. Z hlediska financování lze připustit mírně schodkový rozpočet, který by byl vyrovnán v následujícím roce, kdy se bude konat konference. Zvýšení částek za poradenství bude předloženo ke schválení na pracovním shromáždění v listopadu t. r.

5. Stav členské základny (Ing. Matzner)
Novým členem ve skupině B se stala a.s. Energie Kladno. Vodní stavby, a. s. - v likvidaci oznámily ukončení členství. Přibyli 3 individuelní členové: RNDr. Tesař, Ing. Bartoš, RNDr. Kaprasová.
Současný stav členské základny: A - 3, B - 12, C - 7, D - 13, E - 4, celkem 39 kol. a 30 indiv. Prof. Aldorf je pověřen, aby vstoupil do jednání o členství s. r. o. TCHAS. Ing. Doubek, prof. Barták a Ing. Matzner projednají s Ing. Ratajem možnost přeřazení do skupiny A. Doporučuje se nabídnout čestné členství významným investorům: České dráhy, Ředitelství silnic a dálnic.

Jednání povedou Ing. Doubek (Ing. Kuchár), Ing. Soukup, příp. další.
6. Příprava podzimního Pracovního semináře ČTuK (Prof. Aldorf)
Seminář se uskuteční dne 15. 11. 2001 v Brně na pozvání firmy POHL, organizuje Ing. Fryč. Odborné příspěvky zajišťuje prof. Aldorf. Pozvánka s programem je přiložena.
7. Zahájení činnosti Přípravného výboru konference PS Praha 2003 (Prof. Barták)
Předpokládá se zahajovací schůzka koncem roku. Složení přípravného výboru zůstává beze změn (viz poslední zápis OV PS Praha 2000) a bude předloženo Pracovnímu shromáždění k případným připomínkám. Pokud jde o odbornou náplň konference, předpokládá se členění do stejných tematických celků jako při PS Praha 2000.
8. Různé
81. Předsednictvo akceptuje žádost VOKD, a. s., o přijetí Ing. Sikory za člena RR TUNEL.
82. Předsednictvo bere na vědomí dohodu o spolupráci mezi RR TUNEL a vydavatelstvím polského tunelářského časopisu Budownictwo górnicze i tunelowe.

Zapsal: Ing. Matzner
Ověřil: Prof. Barták

PRACOVNÍ VALNÉ SHROMÁŽDĚNÍ ČLENŮ ČTuK V BRNĚ
se konalo po uzávěrce tohoto čísla dne 15. listopadu. Zprávu o jeho průběhu přineseme v č. 1/2002.

WORKING GENERAL ASSEMBLY OF CTuC MEMBERS IN BRNO
was held the 15 November. Report concerning this event will be presented in the issue No. 1/2002.

SPRAVODAJSTVO SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE ITA/AITES

NEWS LETTER OF THE SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION ITA/AITES

KONFERENCIA "PODZEMNÉ STAVEBNICTVO 2001" BANSKÉ STAVBY, a. s., PRIEVIDZA

Hlavnou udalosťou roka v kalendári STA sa nepochybne stala konferencia Podzemné stavebníctvo 2001, ktorá sa konala v Bojniciach v dňoch 7.-9. 10. 2001. Jej hlavným organizátorom bol podnik BS Prievidza, ktorý si v r. 2001 pripomenul aj toutou formou 50. výročie svojho založenia.
Konferencie sa zúčastnilo približne 200 odborníkov z ČR a SR. Odborný program konferencie bol rozčlenený do 4 tematických okruhov:

A - Geologický prieskum, vyhodnocovanie a interpretácia horninového prostredia
B - Projektovanie a príprava stavieb
C - Technológia, technické prostriedky, strojné vybavenie a materiály
D - Technické a bezpečnostné vybavenie tunelov

Na konferencii odznelo 23 živých vystúpení. V zborníku z konferencie je uverejnených celkom 38 príspevkov.

Samotnej konferencii predchádzalo výjazdné rokovanie redakčnej rady časopisu Tunel a stretnutie reprezentantov ČTuK a STA. Redakčná rada na tomto zasadaní pripravila vydanie 4. čísla časopisu Tunel, ktoré vyjde koncom r. 2001 a predurčila obsahové zameranie vydania 1. čísla v r. 2002.

Organizátorom konferencie sa podarilo pripraviť podujatie veľmi dobrej úrovne nielen po odbornej, ale aj spoločenskej stránke. Prostredie kúpeľného mesta Bojnice presvedčilo všetkých účastníkov, že má nielen potrebnú infraštruktúru, ale aj nenapodobiteľné genius loci pre usporiadanie podobných podujatí.

Účastníci konferencie potvrdili hlavné myšlienky konferencie vzťahujúce sa na odvetvie podzemného stavebníctva v súčanosti a najbližšej budúcnosti vo forme memoranda.

MEMORANDUM

Z KONFERENCIE PODZEMNÉ STAVEBNÍCTVO 2001, KONANEJ DŇA 8. A 9. OKTÓBRA 2001 V BOJNICIACH

Tunelárske začiatky má tak SR ako aj ČR za sebou. V obidvoch krajinách sa výstavba tunelov rozbehla. Poznatky z prvopočiatkov výstavby potvrdili technickú a technologickú spôsobilosť zvládnuť tento sortiment prác. Ťažisko ďalšieho pokračovania sa presúva v súčasnosti do hospodárskej a dopravnej politiky štátu a teda do rozhodovacích procesov. Odborné kruhy

CONFERENCE "UNDERGROUND CONSTRUCTION 2001" BANSKÉ STAVBY, a. s., PRIEVIDZA, SLOVAKIA

Undoubtedly, the conference "Underground construction 2001" held in Bojnice from 7 to 9 Oct. 2001 became the main event of this year in the STA's calendar. Its main organiser was BS Prievidza company, which commemorated the 50th anniversary of its foundation, apart from others, also by this form.
About 200 professionals from the CR and the SR took part in the conference. The agenda of the conference was divided into 4 thematic groups:

A - Geological investigation, assessment and interpretation of rock environment
B - Design and planning of projects
C - Technology, technical facilities, mechanical equipment and materials
D - Technical and safety equipment of tunnels

23 papers were read on the conference. In total, the conference volume of papers contains 38 papers.
The conference proper was preceded by an away meeting of the editorial board of the Tunel magazine, and a meeting of the CtuC and the STA representatives. The editorial board prepared the 4th issue of the Tunnel magazine, which will be published at the end of 2001, and predetermined orientation of the content of the 1st issue of the year 2002.
The conference organisers managed to prepare an event of a very good quality, not only from the professional, but also societal aspect. The environment of the spa town Bojnice convinced all of the participants that it can provide not only an infrastructure required, but also an inimitable genius loci for similar events.
The conference participants confirmed the main ideas of the conference relating to underground construction industry at present and the nearest future in a form of a memorandum.

MEMORANDUM

FROM THE CONFERENCE UNDERGROUND ENGINEERING 2001, TAKING PLACE IN BOJNICE, OCTOBER 8-9, 2001

As well as the Czech Republic, also Slovakia has its tunneling beginnings behind itself. Tunnel construction have advanced within both countries. Knowledge from the construction beginnings have confirmed the technical as well as technological qualification to manage such kind of works. Center of further continuance currently moves towards governmental economic

v odvetví podzemného stavebníctva pre sortiment dopravných tunelov formulujú svoje poznatky, ktoré by mali zohľadňovať v procese rozhodovania centrálne politické a hospodárske orgány:

1. Dopravná infraštruktúra je jedným z rozhodujúcich faktorov podpory hospodárskeho rastu a viditeľným svedectvom civilizačného rozvoja krajiny.
2. Rozvoj dopravnej infraštruktúry vzhľadom na stupeň motorizácie, dynamický rast vnútroštátnej dopravy a posilnenie koridorov medzinárodnej dopravy by sa mala stať jednou z priorít verejných investícií.
3. Zásadná zmena kvality dopravnej infraštruktúry v morfologických podmienkach územia tak SR ako aj ČR sa nedá prekonať inými prostriedkami ako čiastočným vedením ich trás v podzemí.
4. Pri rozhodovaní a plánovaní výstavby odstrániť kampaňovitý priebeh a uprednostniť kontinuitu budovania tunelov v primeranom tempe a rozsahu so zreteľom na rovnomerné využitie domácich tunelárskych kapacít.
5. Návratnosť pri tunelových stavbách je dlhodobá, ale je istá. Je prínosom nielen vyčísliteľnými, ale aj ťažko vyčísliteľnými efektami v takých oblastiach, ako je ochrana životného prostredia, podpora ekonomického rozvoja krajiny, zintenzívnenie cestovného ruchu, zvýšenie komfortu cestovania a v neposlednom rade aj príťažlivosť pre zahraničné investície.
6. Na rozdiel od obdobia pred rokom 1996 už dnes nikto nemôže pochybovať o tom, že je v silách slovenských investorských projektových a dodávateľských organizácií zvládnuť výstavbu tunelov najmodernejšími metódami v požadovanej kvalite i čase.

Ing. Jozef Frankovský

and transportation policy and thus into deciding processes. Professional community in the field of underground engineering for the assortment of tunnel structures formulate their knowledge, which they might take into consideration within the process of decision-taking of the central political and economic institutions :

1. Traffic infrastructure is one of the decisive factors of support of the economic growth as well as clear evidence of the country's civilization level;
2. Development of the traffic infrastructure with regards to the level of motorization, dynamic growth of the domestic traffic and further development of the corridors for international traffic should become one of priorities of the public investments;
3. Essential change of quality of traffic infrastructure in morphological conditions of both CR and SR can not be dealt with using any other means but partial conduction of its routes underground;
4. By decision taking and planning of construction to remove campaign-like process and push through the continuance of tunnel constructions in adequate pace and extent with regards to even utility of domestic tunneling capacities;
5. Returnability is long-term by tunnel constructions, but certain. It contributes not only in numerable, but also hardly numerable effects in areas such as preservation of environment, promotion of the country's economic development, intensification of tourism, increase of the travelling comfort and finally yet importantly also attractiveness for foreign investments;
6. Unlike the era prior to 1996, nowadays no one can doubt that it is within powers of the Slovakian investing, designing and supplying organizations to manage tunnel constructions, using the most modern methods, in a given time as well as quality.



INFORMACE
INFORMATION

NOVINKY V KNIHOVNĚ ČTUK
NEWS IN THE CTUC LIBRARY

SBORNÍKY PŘÍSPĚVKŮ / *PROCEEDINGS*

- Seminář/*Seminar "Design, construction, operation and other aspects of tunnels" - Malaysia, Petaling Jayja, 28. 2. 2000*
- Mezinárodní konference "Podzemní stavby PRAHA 2000"
  International Conference "Underground Construction PRAHA 2000"
  Praha, 9. - 11. 10. 2000
- Světový tunelářský kongres/*World Tunnel Congress ITA/AITES*
  Milano 10. - 13. 6. 2001
  Session 1 - 4: History and archaeology, Underground construction and the environment
  Session 2 - 3: Industrialisation in tunnel construction, Tunnel upgrading and widering
  Session 5: Major projects in progress, Risk assessment for project financing
- Konference "Podzemné stavebnictvo", Banské stavby, a.s., Prievidza, Bojnice 7. - 9. 10. 2001
  Conference "Underground Construction", Banské stavby, a.s., Prievidza, Bojnice 7 - 9 /10/01

RŮZNÉ PŘÍRUČKY A PUBLIKACE
VARIOUS MANUALS AND PUBLICATIONS

- Mechanika podzemních konstrukcí/*Mechanics of underground construction, Aldorf J., VŠB - TU Ostrava, 1999*
- Tunelářství ve Švýcarsku/*Tunnelling Switzerland, Kovári K., Descoeudres F., STS Swiss Tunnelling Society 2001*
- Propagační publikace/*Publicity book: World Tunnelling Congress and General Assembly ITA/AITES 2004, Tunnelling and Underground Construction Society, Singapore*
- Doporučení a směrnice pro tunelové štíty/*Recommendations and guidelines for tunnel boring machines (TBMs), WG ITA/AITES No.14, tutor Shoji Kuwahara, 09/2000*
- Kontrolní sledování a rizika v geotechnice / *Control monitoring and risks in geotechnicks Rozsypal A., 2001*

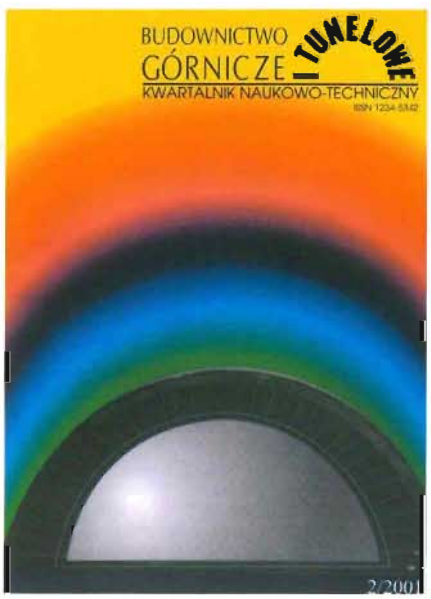
ČESKO-POLSKÁ EDIČNÍ DOHODA

Mezi redakcemi časopisu TUNEL a BUDOWNICTWO GÓRNICZE I TUNELOWE byla uzavřena dohoda o vzájemné výměně odborných článků k publikování. První články můžeme očekávat v č. 1/2002. Pro informaci otiskujeme titulní stranu polského tunelářského časopisu.

CZECH-POLAND PUBLISHING AGREEMENT

Agreement concerning publication of professional papers between the editors of TUNEL and BUDOWNICTVO GÓRNICZE I TUNELOWE has been concluded.
The first articles could be expected in the No. 1/2001. The cover page of the Polish journal is published for information.

Ing. Karel Matzner





METROPROJEKT Praha a.s.

Česká projektová a inženýrská akciová společnost

Czech design and engineering joint-stock company

Dle Vašich požadavků pro Vás vypracujeme:

- rozborové studie a analýzy investic
- projektovou dokumentaci všech stupňů
- transformaci a autorizaci dokumentace zahraničních klientů podle českých norem a předpisů
- poradenskou a konzultační činnost

According to your requirements we elaborate for you:

- pre-investment studies & analyses
- project documentation at all levels
- transformation & authorization of project documentation of foreign clients in compliance with Czech norms and regulations
- advisory & consulting services

Kontaktní spojení: Contact address:

METROPROJEKT Praha a.s.
I.P. Pavlova 2/1786, 120 00 Praha 2, Czech Republic
Phone: +420 2 96 204 121, Fax: +420 2 96 204 122
E-mail: metroprojekt@metroprojekt.cz

ANKRA spol. s r.o.

U Tesly 1
735 41 Petřvald u Karviné
Česká republika

Prvky pro vyztužování a injektáže hornin :
- **Hydraulicky upínatelné kotvy BOLTEX a BOLTEX SUPER**
- **Lepené kotvy typu SN**
- **Příhradový výztužný nosník ANKRA GT a ASTA**
- **Injektážní svorníky BOLTEX PAKRAN**

Příslušenství :
- **Plnicí a čerpací technika pro systém BOLTEX**
- **Hydraulický tahoměr s adaptéry a nástavci**

Výroba a servis

Tel: 069 - 6541792 **Fax: 069 - 6541798**
E-mail: ankra@ankra.cz **www.ankra.cz**

Inženýring
DOPRAVNÍCH STAVEB
a.s.

ZAJIŠŤUJE VEŠKERÉ ČINNOSTI K PŘÍPRAVĚ A REALIZACI STAVEB

- inženýrská činnost ve stavebnictví
- inženýrsko-konzultační činnost v oblasti rozvoje dopravních systémů
- projektová činnost ve výstavbě
- provádění staveb včetně jejich změn, udržovacích prací na nich a jejich odstraňování
- výkon zeměměřických činností
- poradenská činnost v oblasti stavebnictví
- poskytování služeb v oblasti zadávání veřejných zakázek

Okruh zajišťovaných staveb:

metro, pozemní komunikace, tramvajové trati, mosty, administrativní a technologické budovy, obchodní centra, rekonstrukce budov včetně historických, skládky, sportovní areály



ZKUŠENÝ PARTNER - ZÁRUKA KVALITY

Na Moráni 3
128 01 Praha 2

tel.: 02/22646112
fax: 02/22640334

e-mail: ids@ids-praha.cz



Malé Svatoňovice
Nádražní 249
542 34 Malé Svatoňovice
okr. Turnov

EREBOS
podpovrchová výstavba,
spol. s r. o.

IČO: 15038246
DIČ:268-15038246
Tel.: 0439/88 62 72
Fax: 0439/88 62 76
e-mail: erebos@pvtnet.cz
ČSN EN ISO 9002

ČINNOST HORNICKÁ A STAVEBNÍ ČINNOST PROVÁDĚNÁ HORNICKÝM ZPŮSOBEM

- ražby kanalizačních sběračů
- ražby kolektorů
- hloubení jam
- ražby průzkumných štol
- rekonstrukce podzemních objektů
- aplikace NRTM
- ražby silničních tunelů
- rekonstrukce betonových a kamenných mostů včetně izolací a sanací

SPECIÁLNÍ PRÁCE

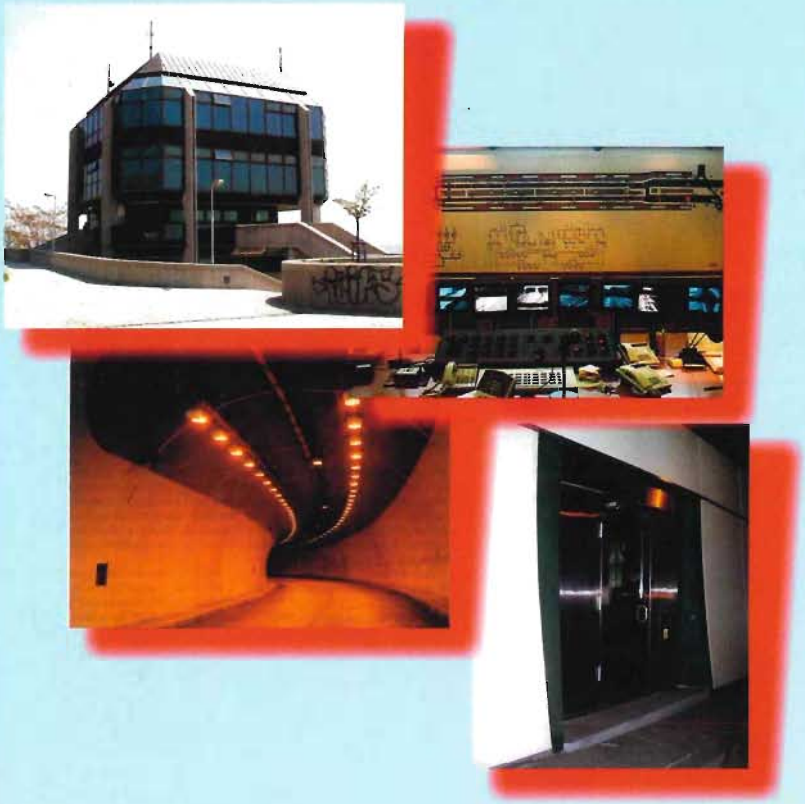
- injektáže
- zpevňování svahů
- regulace vodních toků
- stříkané betony
- provádění pilot do ∅ 158 mm
- vrtné a trhací práce

NÁŠ CÍL: SPOKOJENÝ ZÁKAZNÍK
NAŠE VIZE: ZAVEDENÍ EMS

JIŘÍ HORÁČEK
jednatel
ředitel společnosti

SKUPINA SPOLEČNOSTÍ ELTODO

ELTODO GROUP COMPANIES



ELTODO

ELTODO, a.s.
ELTODO dopravní systémy, s.r.o.
ELTODO-CITELUM, s.r.o.
ELTODO Parking, s.r.o.
ELTODO Power, s.r.o.
ENERGOVOD, a.s.
ENEST, s.r.o.
SOU ELTODO, s.r.o.
Českomoravská energetická, a.s.

Komplexní dodávky technologií, výrobků a služeb

- **technologické vybavení automobilových tunelů** (řízení dopravy, energetika, osvětlení, vzduchotechnika, SOS hlásky, radiové přenosy, požární zabezpečení, video - detekce
- **dopravní a parkovací systémy**
- **rozvod a přenos elektrické energie všech napěťových úrovní**
- **dodávka nákup a prodej elektrické energie**
- **veřejné a architekturní osvětlení**
- **letištní světelná zabezpečovací zařízení**
- **tuzemský a zahraniční inženýring**
- **výroba pro potřeby výstavby a údržby dopravních a řídících systémů, veřejného osvětlení včetně silno a slaboproudých rozvodů a zařízení**
- **nákup a prodej elektroinstalačního materiálu**

Complex deliveries of technics, products and services

- ***interurban traffic technics*** *(road tunnels), (such as traffic control, energetics, lighting, ventilation technology, emergency call boxes, radio transmission technology, videodetection, fire alarm and prevention systems)*
- ***urban traffic control and parking systems***
- ***deliveries of middle, high and extremely high voltage substations, transformer stations and overhead transmission lines***
- ***deliveries, purchase and sale of electric energy***
- ***public lighting systems and architectural lighting***
- ***airport lighting systems***
- ***inland and external engineering***
- ***manufacture of wide scope of products for erection and maintenance of traffic control systems, public lighting incl. low and high voltage distribution equipment***
- ***purchase and sale of electric distribution material***

ELTODO, a.s., Novodvorská 1010/14, 142 01 Praha 4
tel.: +420 2 61341111, fax: +420 2 61710669, e-mail: eltodo@eltodo.cz, www.eltodo.cz