

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)





30

1971 - 2001

METROPROJEKT Praha a.s.

držitel Certifikátu jakosti dle ISO 9001 - Quality Certificate Holder

**VÁŠ PARTNER V PROJEKTOVÉ
A KONZULTAČNÍ ČINNOSTI**

projekty staveb:

metro

tramvajové tratě

železniční koridory

silnice

tunely

průmyslové stavby

městská infrastruktura

bytové objekty

obchodní a administrativní centra



**YOUR PARTNER FOR CONSULTING
& DESIGN**

focus of our activities:

metro

tram tracks

railways

roads, highways

tunnels

industrial halls

urban infrastructure

residential houses

commercial centers

offices

METROPROJEKT Praha a.s.

I.Pavlova1786/2, 120 00 Praha 2, CZ

tel +420 2 96 154 111

fax +420 2 96 325 153

e-mail: metroprojekt@metroprojekt.cz

<http://www.metroprojekt.cz>



10. ROČNÍK, č. 2/2001

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. Jiří Pokorný, generální ředitel, METROPROJEKT Praha, a.s.	1
Historie vzniku a rozvoje Metroprojektu Ing. Miroslav Kupka, METROPROJEKT Praha, a.s.	2
Jak začalo projektování tunelů metra v Praze Ing. Karel Závora, METROPROJEKT Praha, a.s.	4
Architektura tunelových staveb pražského metra Ing. arch. Evžen Kyllar, hlavní architekt pražského metra v letech 1976 – 1985	10
Modelování vlivu podpůrných technologických opatření na redukci deformací tunelového nadloží Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., ČVUT FSv, Ing. Matouš Hilar, M. Sc., SATRA, s.r.o.	14
Tradice a současnost v budování velkoprostorových podzemních objektů firmou SUBTERRA Ing. Michal Gramblička, Ing. Jiří Krajíček, SUBTERRA, a.s.	24
Řešení tunelových úseků s nízkým nadložím metodou "Želva" Ing. Petr Svoboda, Ing. Libor Mařík, ILF CONSULTING ENGINEERS, s.r.o.	28
Větrání tunelů metra a silničních tunelů Ing. Miroslav Novák, METROPROJEKT Praha, a.s.	34
Elektrická energie v podzemních líniových dopravních stavbách s elektrickou stejnosměrnou (DC) trakcí Miloslav Říha, METROPROJEKT Praha, a.s.	38
Energetický systém pražského metra Ing. Vladimír Seidl, METROPROJEKT Praha, a.s.	42
Úloha a funkce televizního a radlového zařízení v podzemní dopravní stavbě Ing. Vlasta Bolomová, METROPROJEKT Praha, a.s.	43
Podzemní stavby a zdravotně postižení Petr Lněnička, METROPROJEKT Praha, a.s., a Sjednocená organizace nevidomých a slabozrakých	46
Pohyblivé schody a výtahy – významná zařízení podzemních staveb Ing. Jaroslav Vieulzoef, METROPROJEKT Praha, a.s.	51
Technické zajímavosti	53
Z činnosti odborných společností zainteresovaných do podzemních staveb	55
Kalendárium ITA/AITES	56

REDAKČNÍ RADA

Předseda: Ing. Petr Vozarik - METROSTAV, a.s.
Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. - ČVUT
Ing. Igor Fryč - POHL cz, a.s.
Ing. Milan Krejcar - INSET, s.r.o.
Ing. Josef Kutíl - INŽENÝRING DOPRAVNÍCH STAVEB, a.s.
Ing. Libor Mařík - ILF CONSULTING ENGINEERS, s.r.o.
Ing. Miloslav Novotný - METROSTAV, a.s.
Ing. Pavel Polák - METROSTAV, a.s.
Doc. Ing. Pavel Příbyl, CSc. - ELTODO, a.s.
Ing. Georgij Romancov, CSc. - METROPROJEKT Praha, 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. Ondřej Vída - BANSKÉ STAVBY, a.s.

VYDAVATEL

Český tunelářský komitét a Slovenská tunelárska asociácia
ITA/AITES pro vlastní potřebu

REDAKCE

Dělnická 12, 170 04 Praha 7
tel./fax: +420-2-667 93 479
e-mail: matzner@metrostav.cz
internet: <http://www.ita-aites>

Vedoucí redaktor: Ing. Karel Matzner
Odborní redaktoři: Ing. Miloslav Novotný, Ing. Pavel Polák,
Ing. Jozef Frankovský

Grafická úprava: Petr Míšek

Tisk: GRAFTOP

Foto na obálce:
Perspektiva nástupišťé jednolodní stanice Kobyličky

VOLUME 10, No. 2/2001

MK ČR 7122

ISSN 1211 - 0728

Tunnel

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

CONTENTS

pg.

Editorial: Ing. Jiří Pokorný, General Manager, METROPROJEKT Praha, a.s.	1
The history of origin and development of METROPROJEKT Ing. Miroslav Kupka, METROPROJEKT Praha, a.s.	2
How the designing of the Prague metro tunnels started Ing. Karel Závora, METROPROJEKT Praha, a.s.	4
Architecture of tunnel structures of the Prague metro Ing. arch. Evžen Kyllár, chief architect of the Prague metro within the years 1976 - 1985	10
Modelling of the effect of supporting technical measures on reduction of tunnel overburden deformation Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., ČVUT FSV, Ing. Matouš Hilar, M. Sc., SATRA, s.r.o.	14
Tradition and the present in building up large space underground structures by SUBTERRA, a.s. Ing. Michal Gramblička, Ing. Jiří Krajiček, SUBTERRA, a.s.	24
Shallow tunnel sections constructed by the "Turtle" method Ing. Petr Svoboda, Ing. Libor Mařík, ILF CONSULTING ENGINEERS, s.r.o.	28
Ventilation of metro and road tunnels Ing. Miroslav Novák, METROPROJEKT Praha, a.s.	34
Electric power in underground transport-related line structures with direct current (DC) electric traction Miloslav Říha, METROPROJEKT Praha, a.s.	38
The Prague metro power system Ing. Vladimír Seidl, METROPROJEKT Praha, a.s.	42
The role and function of television and wireless facilities in an underground structure Vlasta Bolomová, METROPROJEKT Praha, a.s.	43
Underground structures and the disabled Petr Lněnička, METROPROJEKT Praha, a.s., and Czech Blind United	46
Escalators and elevators - important equipment of underground structures Ing. Jaroslav Vieulzoef, METROPROJEKT Praha, a.s.	51
Technical matters of interest	53
Activities of professional corporations interested in underground construction	55
Calendar of ITA/AITES	56

EDITORIAL BOARD

Chairman: Ing. Petr Vozarik - METROSTAV, a.s.
Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. - ČVUT
Ing. Igor Fryč - POHL cz, a.s.
Ing. Milan Krejcar - INSET, s.r.o.
Ing. Josef Kutil - INŽENÝRING DOPRAVNÍCH STAVEB, a.s.
Ing. Libor Mařík - ILF CONSULTING ENGINEERS, s.r.o.
Ing. Miloslav Novotný - METROSTAV, a.s.
Ing. Pavel Polák - METROSTAV, a.s.
Doc. Ing. Pavel Příbyl, CSc. - ELTODO, a.s.
Ing. Georgij Romancov, CSc. - METROPROJEKT Praha, 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 FOR SERVICE USE

by the Czech Tunnelling Committee and the Slovak Tunneling
Association ITA/AITES

EDITORIAL OFFICE

Dělnická 12, 170 04 Praha 7
tel./fax: +420-2-667 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 Mišek

Printed: GRAFTOP

Cover photo:
Perspective of the Kobylisy single-bay station



VÁŽENÍ A MILÍ ČTENÁŘI,

jsm velice rád, že naší společnosti byla poskytnuta možnost komplexní prezentace v časopise, který je velmi dobře zapsán nejen u všech odborníků, kteří se profesionálně zabývají podzemním stavitelstvím, ale i v daleko širší odborné veřejnosti. Naše akciová společnost vděčí za svůj zrod a mohutný vzestup té skutečnosti, že hlavní město Praha koncem šedesátých let minulého století potřebovalo co nejdříve zrealizovat podzemní dráhu. Časem tento stimul slábl a počátkem devadesátých let se dočasně téměř vytratil. Přesto jsme, jako mnohé jiné společnosti v obdobném postavení, v těchto obtížných dobách nejen nezankli, ale transformovali se takovým způsobem, že se dnes můžeme směle postavit na úroveň kterékoli renomované projektové společnosti. Tato prohlášení nejsou jen prázdná slova, ale jsou doložena odbornými články, napsanými našimi pracovníky, které vám v tomto čísle TUNELU (a případně i v číslech dalších) předkládáme. Většina autorů těchto článků s Metroprojektem vyrostla a všichni jsou čtenářům časopisu dobře známi. Mají za sebou ohromný kus projektových prací a stavby realizované podle jejich návrhů již dlouhá léta slouží anebo v dohledné době sloužit začnou. Přitom se nejedná jen o metro, i když v celkovém objemu realizací tvoří stále ještě největší podíl, ale i o další stavby nebo jejich části, které jsou v podzemí nebo v přímé souvislosti s ním. Podzemní stavba není jen tunel, ale je to celý soubor dalších objektů a zařízení, která se do ni umísťují, aby fungovala i v těchto nestandardních podmínkách bezporuchově a spolehlivě dlouhá desetiletí.

METROPROJEKT Praha, a. s., v tomto roce slaví 30 let své existence. Za těchto několik desítek let bylo vykonáno mnoho práce. Činnost naší společnosti se ovšem zdaleka neomezuje jen na pouhé projektování, případně autorský dozor při realizacích. Kolegové – tuneláři z Čech, Slovenska i další ciziny jistě vědí, že Metroprojekt, jako jeden ze základajících členů Českého tunelářského komitétu, prostřednictvím svých nejlepších odborníků v této organizaci aktivně působí, a to včetně mezinárodních aktivit organizovaných Mezinárodní tunelářskou asociací ITA/AITES a jejími pracovními skupinami.

Kromě toho se však naši pracovníci účastní aktivit i v celé řadě dalších organizací – namátkou jen uvedu tunelářskou sekci České silniční společnosti, Sdružení pro výstavbu silnic, CACE, Společnost pro techniku prostředí, HK hl. m. Prahy, Sdružení pro infrastrukturu železnic, Sdružení dopravních podniků, atd. Nezanedbatelná není ani činnost osvětlová, výuková, publikační, důležitá je i spolupráce při tvorbě nerůzných norem a předpisů.

Investorská činnost Dopravního podniku hl. m. Prahy, a. s., Inženýringu dopravních staveb, a. s., dodavatelská činnost Metrostavu, a. s., a ČKD – DIZ spolu s našimi projektovými návrhy získaly v posledních letech od odborné i laické poroty nejvyšší ocenění v oboru dopravních staveb. Stanice Rajska zahrada na trase metra B získala titul Stavba roku 1999 a stavba pražského metra získala v roce 2000 titul Stavba 20. století.

Závěrem děkujeme všem svým obchodním partnerům za spolupráci a důvěru, celému podzemnímu stavitelství přejeme další úspěšný rozvoj a všem čtenářům TUNELU hezké a zajímavé čtení.

DEAR READERS,

I am very happy that our company has been given the opportunity of a complex presentation in this magazine, which is recognised not only by all professionals involved in underground engineering, but also by a much wider professional public. Our joint stock company is bound for its birth and monumental development to the fact that the Prague capital needed an underground railway to be built as fast as possible at the beginning of the sixties of the past century. This stimulus was fading in time, and it nearly disappeared at the beginning of the nineties. Although, we, as other companies in similar condition, not only did not perish, but we have transformed ourselves in such a way, which allows us to keep up with any renowned design consultants. This statement is not a matter of a lip service only. It is supported by the technical articles written by our employees, which we are offering to you in this issue (and possibly in following issues) of TUNEL. Most of the authors of these articles have grown up together with Metroprojekt, and they are well known to many of you, the readers. All of them have got over an enormous volume of designing work, and the structures built according to their designs have been serving for long years or will start to serve in no distant time. This is not the metro only, even if it is still representing a greatest portion of our work volume. There are also other projects or their parts, which are implemented in the underground or are associated with it directly. An underground structure does not mean a tunnel only. It means a complete set of other structures and facilities, which are placed into an underground structure. They must operate even under those non-standard conditions without failures and reliably for long decades.

METROPROJEKT Praha a.s. is celebrating 30 years of its existence this year. A lot of work has been done in the course of that time. Our company's activity is not confined to designing only or to consulting engineer's site supervision. Our colleagues, Czech, Slovak and other foreign tunnelling engineers, certainly know that Metroprojekt, as one of founding members of the Czech Tunnelling Committee, works actively through its best experts in this organisation, including international activities organised by the International Tunnelling Association ITA/AITES and its working groups.

In addition, our employees are active in many other organisations. As an example, I can mention the Tunnelling Section of the Czech Road Association, the Association for Railway Infrastructure, the CACE, the Association of Transport Companies, etc. Also our enlightening, teaching and publication activities or co-operation on development of various standards and regulations must not be omitted.

The activity of the client, Dopravní podnik hl.m. Prahy a.s., the overall consultant and site supervisor Inženýring dopravních staveb a.s., and contractors Metrostav a.s. and ČKD - DIZ, together with our designs, have won the highest appreciation by a professional and lay jury in the field of transport-related structures in past years. The Rajska Zahrada Station on the metro line B was awarded the title of the Project of the Year 1999, and the Prague metro project won the title of The Project of the 20th Century.

To conclude, we would like to thank all our business partners for their co-operation and trust. We are wishing the underground engineering a continuing successful development, as well as nice and interesting reading to all of you, the TUNEL readers.

Ing. Jiří POKORNÝ
generální ředitel - General Manager
METROPROJEKT Praha, a. s.

HISTORIE VZNIKU A ROZVOJE METROPROJEKTU

THE HISTORY OF ORIGIN AND DEVELOPMENT OF METROPROJEKT

ING. MIROSLAV KUPKA, METROPROJEKT Praha, a. s.

V Praze se perspektivně začala poprvé plánovat podzemní dráha již krátce po 1. světové válce (prof. List, ing. Belada návrh z roku 1926). Postupně byly pak předkládány návrhy další, vycházející z nových poznatků, ze zkušeností v rozvoji výstavby podzemních drah ve světě, odpovídající pokroku v rozvoji stavebních technologií, v rozvoji technologických zařízení apod.

Bohužel žádný z předložených návrhů nedospěl k realizaci.

Po 2. světové válce, přesněji v 50. a 60. letech, se začala dopravní situace v Praze již natolik vyhrocovat, že městu hrozil dopravní kolaps. Bylo jasné, že žádná opatření vedoucí ke zlepšení pouze povrchové MHD nemohou vést k cíli. Jako první řešení byl vypracován návrh na přemístění tramvajových tratí v celé centrální části města do podzemí, do tunelů – návrh tzv. systému podpovrchové tramvaje. Toto řešení bylo tehdy přijato, a to usnesením tehdejší vlády č. 239 z 2. 6. 1965 a 7. 1. 1966 byla stavba dokonce zahájena. Usnesením vlády č. 437 z 30. 11. 1966 bylo na základě oponentních posudků toto řešení MHD v Praze systémem podpovrchové tramvaje znovu potvrzeno.

Se systémem podpovrchové tramvaje však nesouhlasila celá řada našich i zahraničních odborníků – považovala jej za systém, který není schopen garantovat dostatečnou kapacitu pro výhledové nároky na přepravu, ani pravidelnost a spolehlivost. Nebylo by to řešení perspektivní, a výstavba převážně hloubených tunelů by dlouhodobě narušila život města. Doporučovali řešit MHD v Praze na principu metra. Stejně doporučení dali i ruští experti, kteří v Praze spolupracovali podle dohody mezi tehdejšími vládami ČSSR a SSSR z 18. 11. 1966 jako konzultanti pro výstavbu podzemních tras.

Tehdejší vláda ČSSR pak svým usnesením č. 288 z 1. 8. 1967 vyslovila souhlas s doporučeným novým řešením a rozhodla o výstavbě metra v Praze.

Generálním projektantem výstavby pražského metra byl uvedeným usnesením vlády určen Státní ústav dopravního projektování v Praze (SUDOP). Důvodem určení tohoto ústavu byla skutečnost, že metro je prakticky podzemní elektrizovaná železnice, a SUDOP byl jedním z dostatečně kapacitních projektových ústavů, který železniční stavby projektoval a měl k dispozici všechny potřebné profese. Měl dostatečnou kapacitu v profesi kolejového svršku, trakčních zařízení, zabezpečovacích a sdělovacích zařízení, vzduchotechniky, strojních zařízení atd.

Uvedeným vládním usnesením byly projektantu uloženy velmi náročné a složité úkoly, a to ve velmi krátkých termínech:

- vypracovat studii cílového řešení MHD v Praze na principu metra;
- vypracovat PÚ a SPŘ prvního úseku trasy (Florenc - Kačerov);
- operativně přepracovávat prováděcí projekty rozestavěného úseku trasy mezi Hlavním nádražím a Muzeem (úsek byl rozestavěn pro původní systém podpovrchové tramvaje).

SUDOP měl dostatečnou projektovou kapacitu ve speciálních železničních oborech, chyběly mu však kapacity v profesích stavebních. Tyto si zajistil kooperací u dalších velkých projektových ústavů – u PUDIS, Interprojektu Praha, na studii i u Báňských projektů. Později při přípravě prvního úseku trasy A (Dejvická, nám. Míru) ještě i u VPU a Hydroprojektu. SUDOP vlastními silami zajišťoval komplexní přípravu i prvního depa metra na Kačerově.

Plánovaný rozvoj sítě metra vyvolával stále větší a větší nároky na odborné projektové kapacity a velký rozsah kooperací s několika jinými projektovými ústavy nebylo možno považovat za optimální. Ke konci roku 1970 se začala projevovat objektivní potřeba vytvořit dostatečně kapacitní, profesně odborný, samostatný projektový ústav, který by byl schopen přípravu staveb metra zajišťovat vlastními silami. Za účelné se považovalo i zařazení takového ústavu mezi organizace investorské strany s cílem zjednodušit vztahy mezi ústředním investorem (NVP hl. m. Prahy), přímým investorem a budoucím provozovatelem (DP hl. m. Prahy) a projektantem.

Z uvedených důvodů byl usnesením tehdejšího představenstva vlády č. 210, ze dne 11. 3. 1971 ustanoven l. 5. 1971 nový specializovaný ústav DP – Metroprojekt. Dopravní podnik hl. m. Prahy byl v té době přestaven na hospodářskou jednotku koncernového typu a Metroprojekt se stal jednou z jeho organizačních jednotek – proto název DP – Metroprojekt.

Do nového projektového ústavu přešlo delimitací asi 250 pracovníků SUDOP, pracujících převážně na přípravě staveb pražského metra. Tehdejší ředitel Metroprojektu velmi liberálně ponechal na každém projektantu, aby se svobodně rozhodl, zda chce, nebo nechce, do nového ústavu přejít. Bylo to velmi dobré a účelné rozhodnutí, protože do Metroprojektu přešli v rámci delimitace ti pracovníci, kteří o práci na přípravě metra měli odborný zájem. To se velmi kladně projevilo při zajišťování dalších dokumentací.

Nový ústav – Metroprojekt – převzal všechny rozpracované dokumentace jako nový generální projektant, a to se závazkem splnění všech již dříve dohodnutých termínů. Přebral i všechny dohodnuté kooperace. Pro Metroprojekt nadále kooperoval i SUDOP při přípravě depa Kačerov. Cílem však bylo postavit ústav tak kapacitní, aby mohl další přípravu staveb metra v Praze připravovat pokud možno bez kooperací.

Práce na přípravě pražského metra byla natolik přitažlivá, že ústavu se dařilo zvyšovat postupně počet potřebných pracovníků z původních 250 v roce 1971 na 520 v roce 1972, na 702 v roce 1976 a v roce 1980 již na 725. Dobře bylo,

In Prague, first prospective planning of an underground railway started shortly after the World War I (Prof. List, Eng. Belada's proposal of 1926). Other proposals were submitted successively based on new knowledge, the experience of the development of underground railways construction in the world, conforming to the progress in the development of civil engineering techniques, the development of technical plant etc.

Unfortunately, none of the proposals submitted came to its realization.

After the World War II, in the period of the fifties and sixties, the traffic situation in Prague started to become acute so much that the city was threatened by a collapse. It was obvious that no measures leading to an improvement of the surface urban mass transit only could result in achievement of the goal.

As the first solution, a proposal to relocate all tramlines existing in central part of the city to the underground, i.e. into tunnels was developed. This system proposal, called a subsurface tram system, was accepted then through the Resolution of the Government No. 239 of 02/06/1965, and the construction even commenced on 07/01/1966. On the basis of opponent assessments, this solution of the urban mass transit (UMT) using the subsurface tram system was again confirmed by the Resolution of the Government No. 437 of 30/11/1966.

Although, a number of our and foreign professionals disagreed with the subsurface tram conception. They did not find the system capable of guaranteeing a sufficient capacity for future transportation demands, regularity and reliability. It would not have been a prospective solution, and the cut-and-cover construction of tunnels would have interfered with the life of the city for a long time. They suggested that the UMT should be solved on the metro principle. Identical suggestion was made by Russian experts, who co-operated in Prague as consultants for development of underground lines according to an agreement concluded by the then governments of the CSSR and the USSR on 18/11/1966.

Then, the government of the CSSR of that time expressed its agreement with the new solution proposed and decided on the metro development in Prague by its Resolution No. 288 of 01/08/1967.

The resolution of the government referred to above appointed Státní Ústav Dopravního Projektování v Praze (SUDOP, the State Institution for Traffic Engineering in Prague) as the overall consulting engineer for development of the Prague Metro system. The reason for appointing this institution was the fact that a metro is practically an underground electrified railway, and SUDOP was the only of the designing institutions who possessed sufficient capacity, who had designed railway structures and had all designing professions necessary at its disposal. It had a sufficient capacity in the professions of trackwork, traction current supply systems, signaling and communications systems, ventilation, mechanical equipment and other designing fields.

The above mentioned resolution of the government charged the designing consultant with very demanding tasks, under very tight delivery terms:

- to develop the study of the target solution of the UMT in Prague based on the metro principle
- to develop the feasibility study and the general design of the first line section (Florenc - Kacerov)
- to operatively redevelop the detailed design of the line section between the Main Railway Station and Museum being under construction (the work on this section was started for the original system of the subsurface tram).

SUDOP had a sufficient designing capacity in specialist railway fields, but it lacked the capacities in civil engineering professions. It ensured them by co-operation with other big designing institutions, i.e. PUDIS, Interprojekt Praha and, for the study, with Banske Projekty (a mining designing office). Later on, during preparation of the section I of the line A (the Dejvicka - the Namesti Miru stations), it also co-operated with VPU (a military designing institution) and Hydroprojekt. Complete planning of the first metro depot in Kacerov was also ensured by SUDOP's own resources.

The planned development of the metro network brought about a higher and higher need of a specialized designing capacity, and the existing large extent of cooperation with several designing offices could not be considered as optimal. At the end of 1970 the objective necessity started to show up to establish an independent designing company with a sufficient capacity and professional expertise, which would be capable of the metro construction preparation by its own resources. It was also considered reasonable to incorporate such the company among organizations on the owner's side with the aim of simplification of the relations among the central owner (NVP hl. m. Prahy, the Prague City National Bureau), the direct owner and the future operator (DP hl. m. Prahy, the Prague City Transportation Company) and the designing consultant.

For the above mentioned reasons, the new specialized company DP-Metroprojekt was established on 01/05/1971 by the Resolution No. 210 of the then Presidium of the Government dated 11/03/1971.

Dopravní podnik (DP) hl. m. Prahy (the Prague City Transportation Company) was restructured into an economic unit of a concern type and Metroprojekt became one of its organization units. This is why its name was DP - Metroprojekt.

About 250 SUDOP personnel working mainly on the preparation of the Prague Metro construction were transferred to the new designing institution in the

že noví projektanti měli odborný zájem pracovat na přípravě tohoto nového fenoménu města – na přípravě metra.

Metroprojekt pak jako generální projektant zajišťoval průběžně veškerou přípravu dalších staveb pražského metra, rozsah a objem prací lze snadno posoudit – jedná se prakticky o všechny dnes provozované úseky tras A, B a C, včetně dep a opravárenské základny, více než 50 km tras, 51 stanic, 3 depa, 1 OZM.

Metroprojekt postupně zajišťoval přípravu i jiných staveb MHD – zejména novostavby nebo rekonstrukce tramvajových tratí, návazných nebo vyvolaných akcí při stavbě metra. Pracoval i na studiích dopravních systémů MHD nejen v Praze, ale i v Brně, Ostravě, Plzni, Bratislavě.

Ke konci 80. let, v období, kdy docházelo k určitým strukturálním změnám v národním hospodářství, vystoupil METROPROJEKT z organizace Dopravních podniků a stal se 1. 7. 1989 samostatným státním podnikem, K 1. 5. 1992 se pak stal samostatnou akciovou společností – s podstatně rozšířeným rozsahem své činnosti.

Společnost METROPROJEKT Praha, a. s., byla založena Fondem národního majetku České republiky podle § 172 obchodního zákoníku na základě přijatého privatizačního projektu. Společnost byla zapsána do Obchodního rejstříku tehdy vedeného Krajským obchodním soudem v Praze dne 1. 5. 1992, do oddílu B, číslo složky 1418. Převážná část činnosti je vykonávána na území České republiky, METROPROJEKT Praha, a. s., je nezávislou společností bez vazeb na doavatelské společnosti, je zařazena do PHARE/TACIS centrálního rejstříku pod č. CZE 19705 a registru World Bank DACON pod č. 1316.

METROPROJEKT Praha, a. s., zajišťuje komplexní projektovou, inženýrskou a konzultační činnost pro rozsáhlé akce, dodávky na klíč a poradenství. Působí převážně v oblasti dopravních a inženýrských staveb se zaměřením na podzemní stavby. V současné době disponuje 162 zaměstnanci rozhodujících stavebních a technologických profesí pro komplexní projektové zabezpečení staveb.

STAVCERT Praha, s. r. o., vydala 5. 10. 1998 společnosti certifikát jakosti: Metroprojekt Praha, a. s., má pro projektovou, inženýrskou a konzultační činnost zaveden a udržován systém jakosti odpovídající ČSN EN ISO 9001.

Z uvedené historie výstavby metra v Praze, následujícího vzniku Metroprojektu a jeho vývoje až do současnosti je patrný obrovský rozsah vyprojektovaných, zejména dopravních staveb, ve většině úspěšně realizovaných. Práce Metroprojektu měla obrovský vliv na dopravně-urbanistické řešení celé Prahy, byla velkým přínosem i pro jiné investory – např. při řešení tunelů pro Českou dráhu.

V současné době je Metroprojekt prosperující akciovou společností s širokým rozsahem oborů své činnosti. Je připraven pro všechny investory plnit odborně, komplexně a v požadovaných termínech jejich požadavky.

process of delimitation. The then director of DP-Metroprojekt left the decision whether to work or not to work with the new institution liberally to each designer's discretion. This was a very good and useful decision since those staff got to Metroprojekt who were professionally interested in the work on the Metro planning. This fact affected positively the process of development of the further stages of documentation.

The new institution DP-Metroprojekt took over all unfinished documentation as the new general designing consultant, together with the commitment to meet all deadlines agreed before. It also took over all agreed cases of cooperation. SUDOP continued to cooperate with DP-Metroprojekt on preparation of the Kacerov depot. Although, the objective was to create an institution with such a capacity, which would enable the further preparation of the Prague Metro construction sites to be performed without cooperation, if possible.

The work on the Prague Metro planning was so attractive that the institution succeeded in increasing progressively the number of its personnel from the original 250 in 1971 to 520 in 1972, to 702 in 1976, and to 725 in 1980. It was good that the new designers were professionally concerned to work on preparation of this new phenomenon of the city, i.e. preparation of the Metro.

Then, DP-Metroprojekt, as the general designing consultant, ensured on an ongoing basis the overall preparation of further construction sites. The scope and volume of the work can be judged easily - it covered virtually all currently operating lines A, B and C including depots and repair bases, i.e. over 50 km of tracks, 51 stations, 3 depots, 1 repair base.

As time went, DP-Metroprojekt started to provide even the preparation of other UMT projects, namely the new construction and reconstruction of tramlines, follow-up or induced actions at the Metro construction.

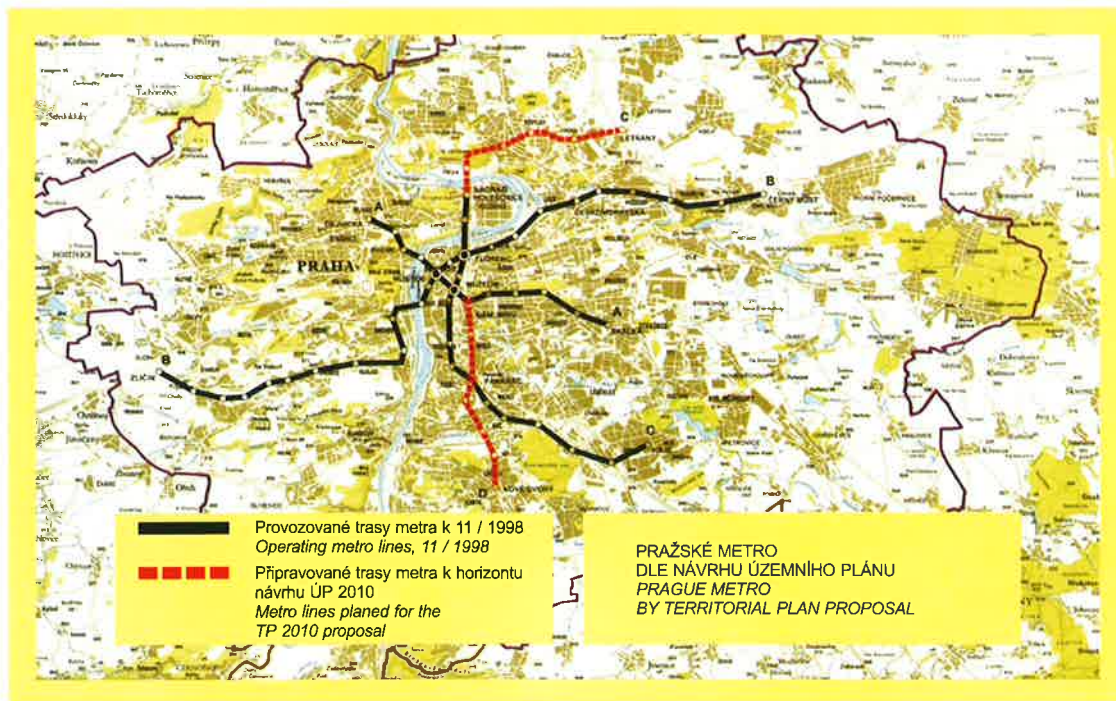
It also worked on the studies on the UMT transportation systems not only for Prague but also for Brno, Ostrava, Pilsen and Bratislava.

At the end of the eighties, in the time when certain structural changes occurred in the national economy, DP-Metroprojekt seceded from the Dopravní Podniky organization and became an independent state-owned enterprise from 01/07/1989.

Then, on 01/05/1992 it became an independent joint stock company with substantially extended scope of its activities.

METROPROJEKT Praha a.s. was founded by the State Property Fund of the Czech Republic in compliance with § 172 of the Commercial Code, on the basis of a privatization project accepted. The company was incorporated into the Companies Register kept then by the Regional Commercial Court in Prague, into the section B, file number 1418 on 01/05/1992.

Major part of the activity is performed within the area of the Czech Republic. METROPROJEKT Praha a.s. is an independent company, with no organizational relations with building contractors. It is contained in the PHARE/TACIS Central Register under the No. CZE 19705, and in the World Bank's register DACON under the No. 1316.



Obr. 1 Současná síť pražského metra a jeho předpokládaný rozvoj do roku 2010
Fig. 1 Prague metro - current network and expected development by 2010

METROPROJEKT Praha a.s. provides complete designing, engineering and consultation work packages for large projects, turn-key supplies and consultancy. It mostly operates in the field of transport-related and civil engineering construction focused on underground construction. Currently it has 162 employees in its disposal, covering all deciding civil and technical professions. Thus it is able to ensure complete engineering consultation and design for construction projects.

STAVCERT Praha s.r.o. awarded the company the following quality certificate on 05/10/1998: Metroprojekt Praha a.s. has the quality management system introduced and maintained for designing, engineering and consultation work in accordance with the ČSN EN ISO 9001.

The giant extent of the designing work on mainly transport-related projects, in the thumping majority successfully implemented, is obvious from the above history of the Prague Metro construction, the following origin of Metroprojekt and its development till the present. Metroprojekt's work influenced the traffic and urbanistic solutions in the whole Prague significantly. It was also a great contribution for other investors, for example in the design of tunnels for the Czech Railways.

Currently, Metroprojekt is a prosperous joint stock company with a wide range of the fields of its activity. It is ready to fulfill the requirements of all clients in a professional and complex manner and to meet the deadlines required.

JAK ZAČALO PROJEKTOVÁNÍ TUNELŮ METRA V PRAZE

HOW THE DESIGNING OF THE PRAGUE METRO TUNNELS STARTED

ING. KAREL ZÁVORA, METROPROJEKT Praha, a. s.

Když v srpnu 1967 rozhodly město Praha a "strana a vláda" o výstavbě metra v Praze, určily za generálního projektanta metra SUDOP – tehdy Státní ústav dopravního projektování.

Spodní stavbu metra, tedy převážně tunely hloubené i ražené, dostal do vínku pátý odbor SUDOP (odbor mostů a tunelů). Pro projektování ražených tunelů metra byla vyčleněna skupinka mladších železničních tunelářů, která se nábořem rychle rozrůstala s přibývajícím rozsahem projektovaných ražených tunelů.

Obrovský úkol projektovat metro vyžadoval zmobilizovat všechny zkušenosti vyčtené z knih a časopisů, kterých však v 60. letech už bylo pohřbů málo. Díky rozsáhlé síti ČSD s četnými tunely a setrvačným postupům údržby a obnovy správy i ústředí dráhy měli železniční tuneláři dobré zkušenosti:

- s projektováním a prováděním velkých oprav a přestaveb železničních tunelů jak z důvodů chátrajícího stavu téměř stoletých tunelů, tak zejména pro rychle se rozvíjející elektrifikaci železničních tratí; tyto přestavby se prováděly převážně za nepřerušeno (pouze omezeného) provozu dráhy ve výlukách a provozních přestávkách železniční přepravy,
- s projektováním několika železničních a silničních tunelů a ochranných systémů, vesměs ražených modifikovanými klasickými metodami,
- s projektováním četných ražených nebo protlačovaných tunelů a štol pod provozovanými železničními tratěmi,
- se sanačními pracemi tunelového ostění a přilehlého horninového prostředí a nadloží (injektování, hloubkové spárování, torcretování, začátky stříkaných betonů suchou i mokrou cestou) a s kotvením hornin různými typy svorníků,
- se zajišťováním a sanováním skalních svahů nad tratěmi (kotvení, torcretování, obkladní a zárubní zdi).

Nejvýznamnější zkušeností železničních tunelářů však byla samozřejmě znalost komplexních potřeb drážního provozu a bezpodmínečná nutnost spolupráce se všemi drážními obory a respektování jejich potřeb nejen aktuálních, ale i výhledových, a to již od samého začátku projekční přípravy. Nikdo z tunelářů však neměl praktické zkušenosti s výstavbou dlouhých tunelů novějšími metodami a s progresivními tunelářskými mechanismy. Teoretické poznatky ze sporadicky získávané literatury bylo možno porovnávat pouze s ražením a vystrojováním důlních chodeb a překopů, na které však byly kladeny nesrovnatelně menší požadavky.

Klasické, byť modifikované metody ražení a zejména vystrojování výrubu výdřevou nebo těžkými ocelovými oblouky z tuhých průřezů byly pro běžnou ražbu tunelů pod Prahou nepřijatelné a možnost jejich využití byla omezena pouze na zhmátní havarijních (mimořádných) situací a přechodu poruchových zón.

SOVĚTSKÁ EXPERTIZA

Při zahájení souběžného plánování, projektování i výstavby metra v Praze byla vládou zajištěna expertiza specialistů moskevského projekčního ústavu Metrogiprottrans, kteří projektovali metra v sovětských velkoměstech. I když průběžné působení jejich skupiny u SUDOP nebylo dlouhodobé a bylo oboustranně citelně ovlivněno "Pražským jarem 1968" a vpádem "spojeneckých vojsk", výstavbě pražského metra přinesly konzultace a doporučení sovětských specialistů významný prospěch. Zkušenost z projektování a výstavby podzemních drah v sovětských městech a zejména v Moskvě, Leningradu a Kyjevě (které původně vycházely především z poznatků o výstavbě "tubes" londýnských podzemních drah), společně se stavem vývoje sovětských mechanizačních prostředků daly jednoznačné doporučení razit tunely pražského metra jednokolejně, v horninách skalního podloží prstencovou metodou razičímí erektořmi a v horninových prostředcích nesoudržných nebo jinak nestabilních nasadit nemechanizované štíty.

Prstencová metoda je založena na vyrubání krátkého záběru tunelů na délku jednoho (max. dvou) prstenců ostění na plný průměr výrubu a na rychlém vystrojování záběru výrubu prstencem trvalého jednoplašťového skládaného ostění.

Nemechanizovaný štít umožňuje obdobný způsob rubání se zkrácením záběru na asi polovinu šířky prstence ostění, přičemž po postupu štítu o šířku prstence se smontuje stejné ostění jako při prstencové metodě v chráněném prostoru pod pláštěm ocasu štítu. Razičímí erektořmi a štíty pro

In August 1967, when the City of Prague and "the party and government" decided on development of the Prague Metro, they appointed SUDOP, at that time the State Institute for Traffic Designing, to become the general design consultant.

The subsurface part of the metro construction, mostly cut-and-cover and mined tunnels, was to be designed by the fifth division (bridges and tunnels) of SUDOP. For designing mined metro tunnels, a group of younger professionals specialized in railroad tunnels was established. The group grew quickly with expanding demands on development of mined tunnels.

The gigantic task, to design the metro, required mobilization of all experience gained by reading books and journals. Although, the experience was very low in the sixties. With respect to an extensive railroad network of the Czechoslovak Railways (CSD), with many tunnels, and to for years repeated methods of maintenance and refurbishment, the staff specialized in railroad tunnels possessed a good experience gained in:

- designing and realization of large repairs and reconstruction of railroad tunnels, both thanks to deterioration of nearly 100 years old tunnels, and particularly owing to a quickly developing electrification of railroad lines; the said reconstruction was performed mostly without any interruption to traffic (only with a limited operation of the railroad for the periods of track possession, and operational breaks in the railroad transport,
- designing of several railroad and road tunnels and protective systems, of tunnels mostly driven by means of modified methods,
- designing of many driven and jacked tunnels and galleries built under operating railroad lines,
- rehabilitation works on tunnel linings and the adjacent rock surroundings, as well as in the overburden (grouting works, deep pointing, guniting, beginning of shotcrete operations using both the dry and wet processes), and anchoring of rock by means of various types of rock bolts,
- supporting and stabilization of rock slopes along railroad lines (anchoring, guniting, retaining and protection walls).

Although, the most important experience of railroad tunnel designers was the experience with the complex needs of the railroad traffic, and the experience with the unconditional necessity of cooperation with all railroad professions, as well as the necessity of respect paid to their needs, not only the current but even the future ones, from the very beginning of the design preparation. Nobody of the tunnel designers had any practical experience with construction of long tunnels by means of newer methods, and with progressive tunneling mechanisms. Theoretic knowledge acquired from literature could be compared only with driving and supporting of mine galleries and crosscuts, for which much lower requirements were set.

Conventional, even if modified mining methods, mainly the methods of the excavation support with timbering or heavy steel arches of rigid cross sections, were unsuitable for a routine driving of tunnels under Prague. The possibility of their application was limited only to emergency situations and for passing through weakness zones.

SOVIET EXPERT ANALYSIS

At the beginning of a parallel process of planning, designing and constructing of the metro in Prague, the government provided an expert analysis developed by specialists of Metrogiprottrans, a Moscow designing institute, who designed metros in Soviet cities. In spite of the fact that the work of their group with SUDOP did not last long and was on both sides affected by the "Prague Spring 1968" and by the invasion of the "allied armies", consultations and recommendations of the Soviet specialists were very valuable for the construction of the Prague metro. Their experience gained during the design and construction works on underground railroad lines in Soviet cities, particularly in Moscow, Leningrad and Kiev (which was originally based mainly on the information about the construction of "the tube" lines of the London subway), together with the state of Soviet equipment, resulted unambiguously in the recommendation to drive single-track metro tunnels in

úseky ražené generálním dodavatelem Vodními stavbami (později Metrostavem) a subdodavatelem Vojenskými stavbami byly dodány spolu s nakládací a další doplňující technikou ze SSSR. Subdodavatel Výstavba kladenských dolů (VKD) nasadil ve svých úsecích vlastní československé konstrukce erektorů; tyto úseky tunelů projektovaly v subdodávce pro SUDOP Bánské projekty Praha, později přejmenované na Interprojekt.

OSTĚNÍ TUNELŮ

V prvním provozním úseku trasy (I.C1 – I.C4) byly raženy pouze dvojice jednokolejních traťových tunelů a potřebné přístupové štoly; stanice a některé mezistanici úseky nebo jejich části byly vybudovány ve hloubených, zajištěných stavebních jamách (resp. rýhách).

Proto prvním zásadním rozhodnutím bylo určení světlého průřezu kruhového skládaného ostění. Po krátkém, ale úporném dohadování bylo rozhodnuto budovat i v Praze tunely se stejným světlým průřezem jako na metru v Moskvě, tj. \varnothing 5,1 m / 5,5 m; pro úseky VKD na I. provozním úseku trasy C bylo ponecháno skládané ostění typu VKD s průřezem 5,2/5,6 m, které se v dalších provozních úsecích už neužívalo. Prvé tunely provozního úseku I.C byly vystrojovány zpočátku jen skládaným ostěním z litinových tybinků, dovážených ze SSSR; omezené dodávky těchto tybinků si však brzy vynutily přechod na skládané ostění ze železobetonových dílců (7 segmentů + malý třídlíný zámek) všude tam, kde nebyly extrémní podmínky geologické a zejména hydrogeologické, resp. kde nebylo nutno montovat ostění "ručně" s použitím vrátků bez erektorů. Do doby, než byly plně rozvinuty výrobní linky železobetonových dílců Preforu Hýskov v závodu Lužec u Mělníka, dovážely se železobetonové dílce skládaného ostění z Maďarska, kde se budovaly stejné tunely pro metru v Budapešti. Traťové tunely ražené subdodavatelem VKD na I.C2 a I.C4 byly vystrojovány výhradně ostěním \varnothing 5,2/5,6 m s prstenci širokými 0,75 m, skládanými ze 4 železobetonových dílců, zhotovených ve výrobně VKD.

Ražené stanice metra v centru Prahy byly nejobtížnějšími raženými objekty vůbec. Všechny byly navrženy jako trojpodlažní, vystrojené skládaným ostěním. S ohledem na délku nástupišť pouhých 100 m bylo rozhodnuto volit umístění stanic do takového horninového prostředí, aby nebylo nutno nasadit na jejich ražbu "staniční štíty" a ražba staničních tunelů byla zvládnutelná prstencovou metodou bez příliš nákladných doplňujících opatření a předstihových stabilizací horninového prostředí. I zde se vycházelo z zkušeností a konstrukcí stanic sovětských metrer, přenesených k nám skupinou sovětských specialistů.

Ražené stanice přestupních uzlů (Můstek na trase A i B a Florenc na trase B) byly navrženy jako sloupové typy stanic se skládaným ostěním z litinových tybinků. U těchto stanic byl zájem projektantů soustředěn především na řešení konstrukce přestupů a jejich průniků a na dimenzování ocelových silnostěnných konstrukcí sloupů.

Také ražená stanice třetího přestupního uzlu Museum na trase A je vystrojena ostěním z litinových tybinků, konstrukce prostupů je však "pylonového typu". Všechny ostatní ražené stanice jsou trojpodlažní, pylonového typu se skládaným ostěním ze železobetonových dílců. Postupným vývojem konstrukcí prostupů se zmenšovaly tloušťky a šířky pylonů z původních cca 3,0 x 3,0 m na 1,5 x 3,0 m, 1,5 x 2 m až na 0,75 x 2 m.

STATIKA

Ostění z litinových tybinků traťových i staničních tunelů dovážené ze SSSR bylo staticky i provozně (vč. požadavků ochranného systému) prověřeno v tunelech sovětských metrer.

Statické posuzování bylo proto zaměřeno na zjištění potřebné tuhosti zejména při zabudování ostění, potřebné interakce (spolupůsobení s horninovým prostředím) a na předpověď možných dotvarování, posunů v ostěni a horninovém prostředí i nadloží.

V místech očekávaných zvýšených přetvoření byla požadována montáž ostění bez převazování podélných spár s potřebným převýšením průřezu ostění tak, aby se umožnilo kloubové působení ve spárách ostění obdobně jako při skládaném ostěni ze sedmi železobetonových dílců. Kloubové působení v ložných spárách při dostatečném zaplnění všech rubových prostorů za ostěním zaručuje "univerzálně dostatečnou únosnost traťových i staničních litinových ostění po celé délce tras tunelů a přístupových štol v horninových podmínkách pražského metra".

Rozsáhlé zkoušky a programy měření zatížení a napětí na rubu, uvnitř i ve spárách ostění, realizované in situ a na stendech v měřítku 1:1 i zmenšených modelech prokázaly, že 200 mm silné, plynostěnné skládané ostění, ze sedmi stejně velkých železobetonových dílců \varnothing 5,1/5,5 m, má stejnou univerzální únosnost jako dovážené litinové ostění, a proto počínajíc provozním úsekem I.A se stalo jediným v Československu vyráběným a do tunelů metra v Praze zabudovaným železobetonovým skládaným ostěním.

Také návrh staničního skládaného ostění ze železobetonových dílců mohl vycházet z již osvědčeného typu ostění stanice metra v Kyjevě. Protože však naše ostění nebylo určeno pro montáž v razičím štítu, byl zachován lic vnitřního průřezu železobetonového ostění stejný jako u ostění litinového \varnothing 7,80/8,50 m a zvětšení tloušťky se promítlo do průřezu rubu ostění, tedy \varnothing 7,80/8,80 m. Také toto ostění bylo prověřeno nejen rozsáhlými výpočty, ale i zkouškami na stendech, a zejména rozsáhlými průkaznými zkouškami na prototypu "reprezentantů", tj. dílců BN, opakovaných pravidelně asi po dvou letech po celou dobu výroby těchto dílců staničního skládaného ostění.

PRSTENCOVÁ METODA, PŘEDNOSTI A NEDOSTATKY

Při ražení tunelů prstencovou metodou a nasazení dovezené rozhodující mechanizace (především razičích erektorů) se brzy projevil jak přednosti,

Prague. The ring method using mining erectors was proposed for excavation in hard bedrock, and non-mechanized shields for driving in an incohesive rock or in a rock unstable in another way.

The ring method is based on a full-face excavation of a short length of the tunnel corresponding to the length of one (max. two) lining rings, and on a quick installation of the excavation support by means of a ring of a permanent single-pass segmental lining.

A non-mechanized shield enables application of an analogous method of driving, with the length of one round shortened to about one half of the width of the lining ring. When the shield has advanced for the full width of one ring, the same type of lining is erected as at the use of the ring method, in the protected space under the shield tailskin. Erectors and shields for sections driven by the general contractor Vodní stavby (Hydraulic Construction - later Metrostav company) and by the subcontractor Vojenské stavby (Military Constructions) were delivered together with loading equipment and other additional mechanisms from the USSR. The subcontractor Výstavba Kladenských dolů (Construction of Kladno Mines - VKD) applied, in the sections built by VKD, erectors of the original Czechoslovak design. The said tunnel sections were designed by Bánské projekty Praha, later renamed to Interprojekt, which was SUDOP's designing subcontractor.

LINING OF TUNNELS

On the first operational section of the line (I.C1 – I.C4), were only two couples of single-track tunnels and the needed access galleries were driven. Stations and some inter-station sections or their parts were constructed in cut and cover box excavations. That is why the first fundamental decision resided in determination of the net internal diameter of the circular segmental lining. After a short, but intensive discussion it was decided to construct tunnels of the same net internal diameter as in Moscow, i.e. 5.1 m/5.5 m, even in Prague. For the sections built by the VKD company on the 1st operational section of the line C there remained the segmental lining developed by VKD, having the cross section of 5.2/5.6 m. This lining was not applied on the further sections any more. Initially, first tunnels of the operational section I.C were lined by cast iron segments imported from the USSR. Limited deliveries of the said segments resulted in a general use of reinforced concrete segments (7 segments + a small three-piece key) wherever no extreme geological, particularly hydrogeological, conditions existed, or where it was not necessary to assemble the lining manually with winches, without erectors. Till the moment when reinforced concrete segment casting yard was put into full operation by Prefa Hýskov in the plant Lužec at Mělník, the reinforced concrete segments of the segmental lining had been imported from Hungary, where the same tunnels for Budapest metro were constructed. Running tunnels driven by the subcontractor VKD in sections I.C2 and I.C4 were equipped exclusively with the 5.2/5.6 m-diameter lining with the rings being 0.75 m wide, composed of 4 reinforced concrete segments produced in the casting yard of VKD.

Driven metro stations in the center of Prague were the most difficult driven structures in general. All of them were designed as three-bay stations, equipped with segmental lining. With respect to the length of platforms amounting to 100 m only, it was decided to situate the stations in such a rock environment, which would not require application of any "station shields", and would allow application of the ring method, without additional expensive measures and preliminary stabilization of the rock. Even there, everything was based on the experience and designs related to the Soviet metro stations, transferred to us by the group of the Soviet specialists.

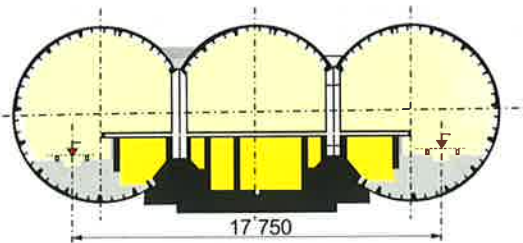
Driven interchange stations (the Můstek station on the line A and B, and the Florenc station on the line B) were designed as pillar type stations with cast-iron segmental lining. At the said stations, the interest of designers was directed especially to the design of interchange tunnels as well as their intersections, and to dimensioning of thick-walled steel structures of pylons. Also Museum, the third driven interchange station on the metro-line A, is lined by cast-iron segments, but the design of cross passage openings is of a "pylon type". All other driven stations have three bays with pylons. They are lined by reinforced concrete segments. The gradual development of the cross passage openings design resulted in a decreased thickness and width of pylons, from the original 3.0 x 3.0 m to 1.5 x 3.0 m, from 1.5 x 2 m to 0.75 x 2 m.

STATICS

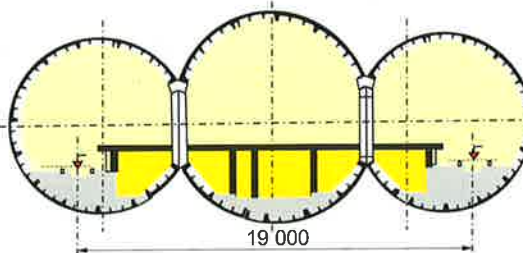
The lining of track tunnels and stations consisting of cast-iron segments imported from the USSR proved competent, in terms of statics, operation and requirements of the protective system, in the tunnels of Soviet metros.

That is why the objective of the static evaluation was to determine the needed rigidity, especially on erection of the lining, to examine the interaction desired (i.e. the interaction between the lining and the rock mass and the forecast yielding), and displacements within the lining, the rock mass, and the overburden.

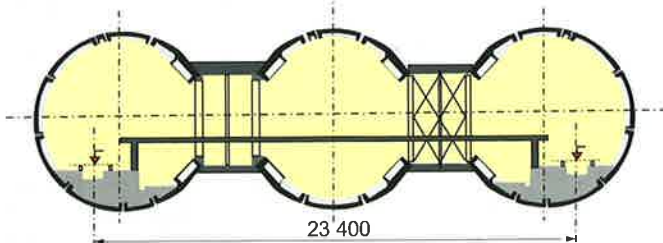
In places of expected increased deformations, there was required the assembly of rings without staggering of radial joints, with an exaggeration of the lining cross section, which allowed origination of the hinge effect in the joints, analogously with the segmental lining with rings consisting of seven reinforced concrete segments. The hinge effect in radial joints, together with



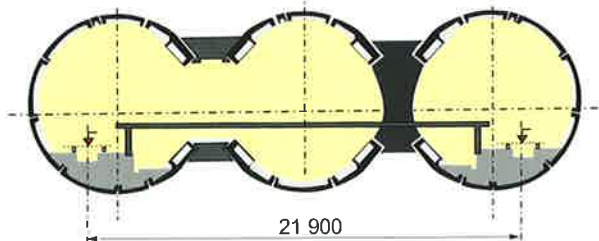
a trojlodní sloupová (Můstek A)
a three-bay pillar type (Mustek, line A)



b trojlodní sloupová s rozšířenou střední lodí (Můstek B, Florenc B)
b three-bay pillar type with widened central bay (Mustek B, Florenc B)



c pilířová (většina ražených do r. 1980)
c pylon type (most of stations driven had been by the year 1980)



d pilířová s minimalizovanými pilíři (po roce 1980)
d pylon type with minimized pylons (after the year 1980)

Obr. 1. Konstrukční uspořádání ražených stanic pražského metra
příčné řezy
Fig. 1 Structural arrangement of driven stations of the Prague metro
cross sections

tak některé nedostatky, spojené s aplikací této metody, zabudováním a utěsněním ostění, i omezenými možnostmi konstrukce erektorů a kompletování mechanizace razičích prací.

Přednostmi byly zejména:

- pravidelný cyklický postup rubání průřezu po krátkých záběrech,
- možnost úpravy střešných prací a způsobů rozpojování podle aktuálních stavů horninového prostředí včetně přípustných seismických účinků,
- přijatelné postupy ražení; traťové tunely asi 3 m/prac. den a při "rekordních" postupech až 5 m/prac. den; staniční tunely 1 až 1,5 m za prac. den,
- rychlé vystrojení trvalým skládaným ostěním se zaplněním rubového prostoru za osazenými dílci (tybinky), a tak dosažení plné nosnosti ostění od jeho zabudování v čelbě, jeho spolupůsobení s horninovým prostředím a výrazné omezení rozvoje deformací,
- vybudování pevného "definitivního" dna, pevného podkladu pro staveništní kolejovou dopravu, zaručující plynulě odtěžování raubin a zásobování čelby i pomocných služeb,
- stálá kvalita zabudovávaného ostění především z hlediska jeho nosnosti, a tím vyloučení havarijních situací v tunelu za čelbou,
- rychlé zapracování osádek, stabilizace pracovních čtů pro cyklické práce, snadná možnost ohodnocení výkonu čtů a stanovení úkolových sazeb,
- zpravidla snadné a neškodné odvádění průsakových a technologických vod (i z hlediska horninového prostředí),

a sufficient backfilling of the annulus behind the lining, secures a "universally sufficient loading capacity of running and station cast-iron lining along the whole length of tunnel routes and access adits in the rock conditions of the Prague metro".

Extensive tests and programs for measuring the load and stress at the reverse side, inside and in joints of the lining, realized in situ and on stands in the scale 1 : 1, as well as on scale models proved that a full-wall segmental lining, 200 mm thick, made from seven identical reinforced concrete segments, each of the size 5.1/5.5 m, has the same universal loading capacity as the imported cast-iron lining. That is why, starting from the operational section I.A, it became the only reinforced concrete lining produced in the Czechoslovakia and installed in the tunnels of the Prague metro.

Also the design of the reinforced concrete segmental station lining could be based on the time-tested type of lining of Kiev metro stations. As our lining was not designed for an assembly in a driving shield, there was kept the same face of the internal cross section of the reinforced concrete lining as it was at the 7.80/8.50m-diameter cast iron lining. The thickness increase affected the reverse side of the lining cross section, changing the diameter to 7.80/8.80 m.

This lining was also tested not only by extensive calculations, but also both by tests on stands and particularly by extensive tests on prototypes of "representatives", i.e. segments BN, repeated regularly at about 2-years intervals during the whole time of production of the said segments of the station lining.

THE RING METHOD, ITS ADVANTAGES AND DRAWBACKS

Both advantages and some drawbacks related to the application of the said method, assembling and sealing of the lining, and to the limited possibilities of designing erectors and purchasing missing equipment appeared soon in the course of the tunnels driving by means of the ring method and applying the principal imported equipment (erectors in the first place).

The advantages were as follows:

- a regular cyclical advance of excavation divided into short rounds
- a possibility to adapt blasting operations and ways of disintegration with respect to actual conditions of the rock mass inclusive of allowable seismic effects
- acceptable driving advances, for running tunnels about 3 m per 1 working day, and at "record advances" up to 5 m per one working day, for station tunnels 1 to 1,5 m per 1 working day
- a quick installation of support with a permanent segmental lining together with backfilling of the annulus behind the installed segments (tubings), thus achieving the full loading capacity from the moment of installation at the tunnel face, its interaction with the rock mass and a significant limitation of the deformation development
- creation of a firm "final" floor, i.e. a firm base for rail-bound traffic ensuring a continuous haulage of muck and transport of supplies for the tunnel heading and auxiliary services



Obr. 2 Výstavba sloupové stanice metra v Moskvě (konec 60. let minulého století)
Fig. 2 Construction of a pillar type of metro station in Moscow (the end of the sixties of the last century)

- větší počet téměř jednotných mechanizačních prostředků dostatečně robustní konstrukce (erektorů ale i nemechanizovaných štítů) usnadňoval jejich údržbu a opravy.

Za nedostatky lze považovat:

- nedostatečné dořešení problémů zajištění čela a líce výrubu v čelbě po dobu odtěžování rubaniny a montáže i stabilizování prstence skládaného ostění,
- chybějící možnost mechanizace vrtných prací pro rozpojování trhavinami i pro kotvení,
- nemožnost kompletizovat razicí práce ani dodatečně jak v důsledku nemožnosti rychlého odsunutí erektoru od čela výrubu, tak v důsledku velmi omezeného průřezného průřezu pod erektořem,
- velmi omezená mechanizace pro pomalé a velmi pracné stabilizování (člívování) prstenců ostění v bocích i klenbě a také pro důkladné zaplnění a utěsnění rubových prostorů tak, aby se jednak omezily deformace horninového prostředí a nadloží, jednak výrazně omezila propustnost prostředí za rubem ostění,
- dosti pracné, nedokonalé a málo mechanizované těsnění ložných i styčných spár ostění.

RAŽENÍ TUNELŮ METRA POD MĚSTSKOU ZÁSTAVBOU

V důsledku změny již rozestavěné podpovrchové tramvaje na stavbu klasického metra byla stavba sítě pražského metra zahájena prvním provozním úsekem trasy C (tj. I.C1 až I.C4), která byla vedena v centru prostorem kolem bývalých městských hradeb a také za Nuselským mostem procházela Pankrácí prakticky mimo zástavbu.

Pouze v úseku mezi Muzeem a Nuselským mostem dlouhým asi 1,3 km, ražením prstencovou metodou, byla podcházána hustá městská zástavba měšťanskými, zpravidla čtyřpatrovými cihelnými domy z 19. století. Na Pankrácí pak bylo podcházáno jen několik ojedinělých objektů a několik téměř kolmých front obytných domů, vybudovaných po 1. nebo 2. světové válce. Tyto tunely byly raženy zčásti prstencovou metodou, zčásti pak nemechanizovanými štíty.

Pečlivé sledování zástavby bylo zajištěno jednak přesnou nivelací v rámci dlouhodobého periodického měření i krátkodobého bezpečnostního měření v období aktuálního ovlivňování podcházející ražbou, jednak pravidelnými kontrolními komisionálními prohlídkami. V rámci výzkumných úkolů se postupně rozvíjelo i sledování deformací a napětí jak v ostění, tak v horninovém masivu příslušného tunelu. Investor pak zajistil důkladné geologické sledování při všech ražbách a potřebnou službu geologů pro všechny účastníky stavby metra.

Takto byl od samého počátku ražeb tunelů metra zajištěn "monitoring" pomocí relativně jednoduchých prostředků. Důkladné vyhodnocení výsledků z provozního úseku I.C pak poskytlo nesmírně cenné poznatky a podklady všem účastníkům výstavby metra, podpořilo sebedůvěru a odvahu podcházet dalšími provozními úseky I.A a I.B nejceněnější historické centrum Prahy, Staroměstské náměstí se starobylou radnicí, kostel sv. Havla s okolní zástavbou, Můstek s kostelem Panny Marie Sněžné, kostel Nejsvětější trojice, Prašnou bránu i přilehlý Obecní dům.



Obr. 3 Stavěniště v proluce Myslbek – 70. léta minulého století (odsud probíhala výstavba obou stanic Můstek A i B)
Fig. 3 Construction site at the Myslbek clearance – the seventies of the last century (serving for construction of both Mustek stations, i.e. on the lines A and B)

- a permanent quality of the lining being built in, in terms of its loading capacity in the first place, and, thanks to the quality, elimination of emergency situations in the tunnel behind the heading

- a short learning curve period, stabilization of teams for cyclical works, an easy possibility to evaluate the output of teams and determine piece rates
- a usually easy and harmless draining of water, both penetrating and technological (even from the point of view of the rock environment)
- a larger number of nearly uniform equipment of a sufficiently robust design (erectors and non-mechanized shields) made the maintenance and repairs easier

The drawbacks were as follows:

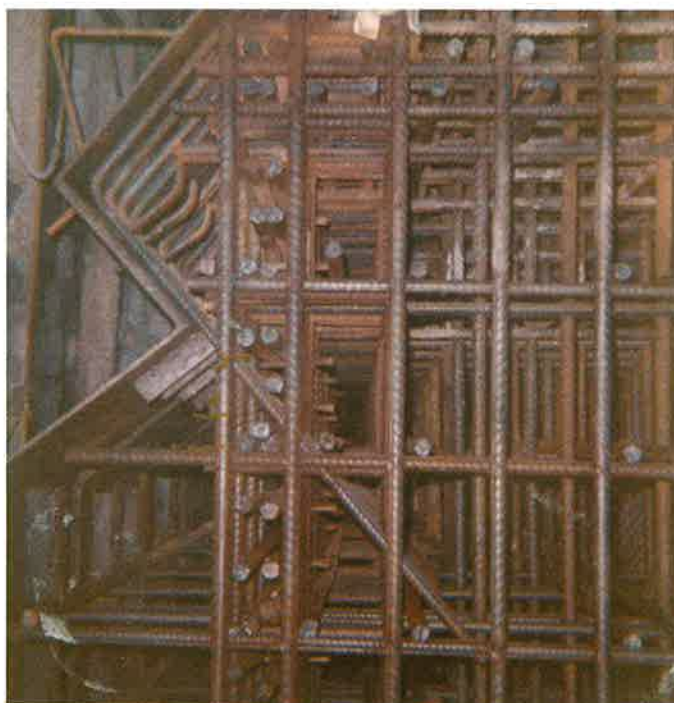
- an incomplete solution of the issue of the tunnel face and the excavated rock surface support during the muck loading and stabilization of the segmental lining ring
- a missing possibility to mechanize drilling operations for blasting and anchoring
- an impossibility to complete driving works not even additionally, both due to the impossibility to move quickly the erector back from the tunnel face, and due to a very limited clearance under the erector
- an insufficient equipment for stabilization (packing) of rings on sides and at the crown, and also for a thorough backfilling and sealing of the space on the reverse side of the lining, limiting both the deformations of the rock mass and overburden and the permeability of the material behind the lining
- a rather laborious, imperfect and poorly mechanized way of sealing of radial and transverse joints

EXCAVATION OF TUNNELS UNDER THE URBAN SETTING

Thanks to the conversion of the already started project of an underground tram to a project of a conventional metro, the construction of the Prague metro network can be considered as started on the first metro line section C (i.e. I.C1 to I.C4). This line passed through the downtown along former fortification and, behind the Nusle bridge, it continued through the Pankrác district, also practically beyond developed areas.

Only in the section between the Museum and the Nusle Bridge, being about 1.3 km long, driven by means of the ring method, it led under a densely developed area containing residential houses, usually four-storeyed brick buildings from the 19th century. In Pankrác it underpassed some individual buildings and several nearly rectangular complexes of tenement houses built up after the World Wars I and II. The said tunnels were driven partially by means of the ring method and partially by means of non-mechanized shields.

A careful monitoring of the buildings was secured both by means of an accurate level survey within long-term measurements as well as short-term safety measurements carried out during the period when the buildings were actually affected by the excavation passing underneath. In addition, regular inspections by a special committee were carried out. In the framework of



Obr. 4 Ocelová výztuž základového pasu pod sloupy stanice Můstek A
Fig. 4 Steel reinforcement of continuous foundation under columns of the Mustek station, line A

Ražba traťových tunelů, a zejména pak ražba tunelů staničních včetně celých přestupních uzlů (např. přestupní uzel Můstek se dvěma raženými sloupovými stanicemi), ovlivňovala nejen nesmírně cennou historickou zástavbu, ale i komunikace a křižovatky se silným automobilovým a tramvajovým provozem, významné podzemní sítě, včetně přestálých hlavních kanalizačních sběračů, vodovodních a plynovodních řadů a dálkových kabelových tras s mezinárodními "horkými linkami".

Díky dobré spolupráci všech účastníků výstavby a zapojení řady dalších organizací (v rámci běžně zadaných nebo výzkumných úkolů) se postupně zdokonaloval monitoring projevů v tunelu, v horninovém prostředí i ve všech objektech v nadloží a zejména i kvalita a rychlost jeho vyhodnocení a uplatňování výsledků při dalším řízení ražeb tunelů.

MECHANIZOVANÉ ŠTÍTY A OSTĚNÍ Z LISOVANÉHO BETONU

Snaha o co největší ochranu, resp. minimální ovlivnění historické zástavby vedla k nasazení komplexně mechanizovaného razicího štítového komplexu TŠč B-3, dodaného ze SSSR. Hlava štítu mechanizovaně rozpojovala skalní horninu v plném kruhovém průřezu odvrátáním pomocí více než 40 valivých dlát. Tělo štítu, chráněné ocelovým pláštěm, neslo otáčivou hlavu, pohonné jednotky a další nezbytná zařízení pro vedení štítu a ovládání hlavy. Zadní část štítu byla dělená tak, aby rozpínavý prstenec po jeho rozepnutí do líce výrubu poskytoval nezávisle oporu buď pro postupující štít s vrtnou hlavou, nebo pro lisy za štítem zabudovávaného lisovaného betonu, případně pro obě činnosti současně. I když poruchové zóny si vyžádaly řadu předstihových opatření a sanačních prací, které ražbu velmi zpomalovaly, byly úspěšně vyraženy tunely na trase I.A pod Vltavou ze stanice Malostranská do stanice Staroměstská a jeden tunel od stanice Staroměstská do stanice Můstek; na trase I.B pak tento štít vyrazil severní tunel od Myslbeku za stanicí Můstek až do stanice Florenc.

Náročná technologie kvalitního lisovaného betonu zaručovala těsné vyplnění všech rubových prostor na kontaktu s horninou a navíc vyvozovala aktivní tlak na líc výrubu 2 až 6 barů.



Obr. 5 Ražba spodní části přestupního tunelu na Můstku s předraženu patní štolou
Fig. 5 Excavation of the bottom part of the interchange tunnel at Můstek, with pre-excavated side-wall drift



Obr. 6 Ražba kaloty středního tunelu stanice Můstek A
Fig. 6 Central tunnel top heading excavation of the Můstek station

research tasks, the monitoring of deformations and stresses both in the lining and the rock massif surrounding the particular tunnel was developing step by step. Then the owner ensured a thorough geological monitoring at all drives and the needed service of geologists for all participants of the metro construction.

In this way a monitoring of the tunnel driving was ensured from the very beginning by means of relatively simple means. A thorough evaluation of results from the operational section I.C resulted in a very important knowledge and source documents for all participants of the metro construction. It enhanced the self-confidence and courage for further operational sections I.A and I.B to underpass the historic center of Prague, the Old Town Square with the time-honored Old Town Hall, the Saint Havel Church with the neighboring housing, Můstek with the church of our Lady of the Snow, the church of the Holy Trinity, the Gun Powder Gate and the adjacent Art Nouveau Obecní Dům.

The driving of running tunnels, and especially driving of station tunnels, inclusive of the whole interchange nodes (e.g. interchange point at Můstek with two driven pillar stations) affected not only the historically very valuable buildings, but also roads and crossroads with a dense vehicular and tram traffic, important underground networks, inclusive of very old sewerage collectors, water-supply and gas pipelines, and long-distance cable routes with international "hot lines".

Thanks to a good cooperation of all construction participants and the integration of many other organizations (within the framework of routinely ordered or research tasks), the monitoring of the effects of driving on the tunnels, on the rock mass and on all structures in the overburden improved. First of all, the quality and quickness of the monitoring evaluation and application of its results on the further driving of tunnels improved considerably.

MECHANIZED SHIELDS AND PRESSED CONCRETE LINING

The effort to achieve a maximum protection, or to minimize the influence on historic buildings, resulted in an application of a tunnel boring machine, then called a fully mechanized driving shield complex TŠč B-3, delivered from the USSR. The head of the shield, cutting with more than 40 disc cutters, disintegrated the rock within the full circular cross section. The shield body, protected by a steel skin, was provided with the rotary head, driving units and other necessary equipment for guiding the shield and for controlling the cutterhead. The rear part of the shield was split so that the expanding ring, after its expansion against the rock surface, provided an independent support either for the thrust cylinders advancing the shield with the cutterhead, or for hydraulic cylinders pressing the concrete behind the shield, or for both of the said activities simultaneously. In spite of the fact that weakness zones required many measures and stabilization operations to be performed in advance, by which the driving was slowed down, the tunnels under the Vltava River on the line I.A leading from the Malostranská to the Staroměstská station, and one tunnel from the station Staroměstská to the station Můstek were driven successfully. On the line I.B, the said shield bored the northern tunnel tube from Myslbek (behind the station Můstek) to the Florenc station.

An exacting technology of a high quality pressed concrete ensured a tight filling of all reverse side spaces at the contact with the rock, and, in addition, it developed an active pressure upon the rock face equal to 2 to 6 bars.

The application of mechanized shields removed unfavorable seismic effects of blasting operations and considerably restricted loosening of the rock massif behind the reverse side of the pressed concrete lining. Particularly the 25 cm-thick pressed concrete lining exhibits a minimum of defects, has the least requirements on maintenance and repairs and also a minimum of leaks.



Obr. 7 Řezná hlava ruského mechanizovaného razicího komplexu nasazeného na ražbu traťových tunelů trasy A pod Vltavou (polovina 70. let minulého století)
Fig. 7 The cutterhead of the Russian mechanized boring complex (TBM) utilized on running tunnels of the line A under the Vltava (the middle of the seventies of the last century)

Nasazení mechanizovaných štítů odstraňovalo nepříznivé seismické účinky trhacích prací a výrazně omezovalo rozvolnění horninového prostředí za rubem ostění z lisovaného betonu. Právě ostění z lisovaného nevyztuženého betonu při tloušťce 25 cm vykazuje nejméně poruch, má nejmenší nároky na údržbu a úpravy a vykazuje i nejméně průsaků.

SNAHA O ZLEPŠOVÁNÍ

Značné úsilí všech budovatelů metra spolu se zapojenými výzkumnými a vývojovými pracovišti vedlo k odstranění nebo alespoň omezení zjištěných nedostatků a pracnosti a ke zvýšení kvality a bezpečnosti práce. Toto úsilí bylo výrazně podpořeno a zvýšeno ustavením národního tunelářského komitétu a jeho přijetím za člena ITA/AITES.

Hlavním cílem zlepšování bylo zvýšení vodotěsnosti a přesnosti skládaného ostění. Příkladem byly úspěchy některých ostění ukládaných za mechanizované štíty v různých částech světa. Naší snahou bylo umožnit osazování takových ostění i při prstencové metodě.

Po řadě studií bylo navrženo ostění pro takové tunely bratislavské rychlodráhy a ostění pro staniční tunely metra v Praze.

Přesnost výroby a úprav ložných i styčných spár dílců, spolu se spoji svorníky zašroubovanými do umělohmotných hmoždinek v přilehlých dílcích, umožňovaly bezpečně těsnění pomocí páskových rámu z gumy nebo EPDM přilepených do drážek ve spárách po celém obvodu dílců.

K realizaci však ani v jednom případě již nedošlo v důsledku politických i ekonomických změn koncem osmdesátých let. Bohužel nepodařilo se prosadit ani tzv. československou prstencovou metodu, což bylo v podstatě využití prostředků dočasného zajišťování podle NRTM v čelbě před razičím erektorem k bezpečnému a rychlému zabudování trvalého ostění!

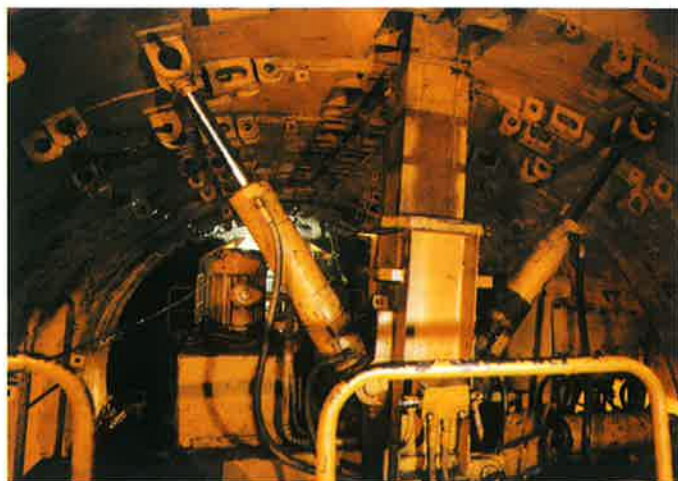
Tyto snahy "shofely" na nedostatečném podchodím průřezu pod erektorem a zejména nemožností (resp. hlemýždí rychlosti) odsouvání erektoru od čela výrubu. Bez výkonné mechanizace před výrubovým čelem nelze dosáhnout rubání záběru v optimálním čase ani bezpečně potřebné dočasné zajištění výrubu (tj. čela i líce záběru). V důsledku malé podpory a možná i nevěle vrcholových orgánů a velmi omezených devizových prostředků nebylo možno dosáhnout výrazné změny technologických postupů a nakoupit k tomu potřebnou komplexní mechanizaci ze západu.

ZÁVĚR

V Praze se vyrazilo více než 100 km traťových tunelů metra, z nichž většina podcházela pod hustou zástavbou města včetně nejcennějších historických památek a několikrát i pod korytem a zvodněnými pobřežními terasami řeky Vltavy, pod hlavními stokami, vodovodními a plynovodními řadami apod. To, že při jednoduchých a omezených "monitorovacích" postupech a prostředcích nedošlo k žádné velké či nenahraditelné škodě, je jistě pozoruhodné a svědčí to o odpovědné práci a hlavně spolupráci všech účastníků výstavby metra a přízvaných organizací.

S odstupem času považujeme za významné, že přes často bouřlivé organizační změny, kterými prošli všichni účastníci výstavby, nikdy nebyly narušeny společné zájmy a mnohé osobní kontakty společně usilujících spolupracovníků a partnerů o nejlepší výsledky pro konečnou stavbu a provoz metra.

Toto nadšené úsilí přetrvávalo a přemohlo jak technické, tak politické obtíže doby "normalizace", kdy úspěchy byly kolektivní a neúspěchy ohrožovaly osobně "označeného" viníka. Snad i proto byla soudržnost celého kolektivu stavbařů metra tak kompaktní i při různých vyvolaných šarvátkách a mimořádných událostech.



Obr. 8 Bednění pro ukládání lisovaného betonu za mechanizovaným komplexem

Fig. 8 Shuttering for pressed concrete casting behind the TBM

STRUGGLING FOR PERMANENT IMPROVEMENT

A considerable endeavor of all metro constructors, together with cooperating research and development institutes was directed to removal or at least limitation of disclosed defects and laboriousness, as well as to an improvement of quality and safety of the work. The said endeavor was considerably supported and intensified by establishment of the National Tunnelling Committee and its admittance into the membership of the ITA/AITES.

The main direction for improving consisted in the improvement of watertightness and accuracy of the segmental lining. The success of some linings installed by TBMs in various parts of the world was taken as an example. Our effort aimed to making it possible to install such linings even by means of the ring method.

After many studies there was designed a lining for such tunnels on the Bratislava high-speed railroad and the lining for station tunnels of the Prague metro.

The accuracy of production and treatment of radial and transverse joints in the segmental lining, together with bolted joints using plastic dowels in adjacent segments, enabled a safe sealing by means of rubber or EPDM gasket frames inserted in the joints around the whole circumference of the segments. But not even in a single case did the realization take place. It was because of the political and economic changes at the end of the eighties. Sorry to state, not even the "Czechoslovak ring method" was enforced, which was in fact only a utilization of means of a temporary support according to the NATM at the tunnel face ahead of the driving erector for a safe and quick installation of a permanent lining.

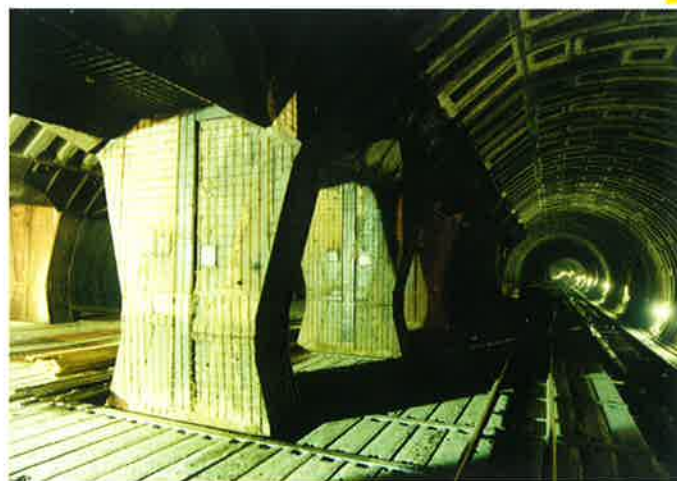
The said efforts were not successful due to the insufficient clearance under the erector, and especially due the impossibility (or snail velocity) to shift the erector away from the excavation face. Without an efficient mechanization in front of the tunnel face, neither the excavation of one round in an optimal time nor a safe temporary support of the excavation (i.e. the face and sides of the excavation) can be ensured. Due to an insufficient backing and, may be, unwillingness of top bodies and very limited funding in foreign currency, it was not possible to achieve a significant change in technological methods and to buy the needed complete mechanization "from the West".

CONCLUSION

More than 100 km of metro running tunnels were driven in Prague, the major part of which was constructed under a dense urban development, inclusive of the most valuable historic monuments, and several times even under the bed and water logged bank areas of the river Vltava, under sewer, water and gas mains, etc. It is remarkable that no considerable or irrecoverable damage occurred due to the application of so simple and limited monitoring methods and means. It certifies that all participants of the metro construction and invited organizations worked responsibly and their cooperation was very good.

With laps of time, we consider as important the fact that, in spite of often turbulent organizational changes experienced by all construction participants, the common interest and many personal contacts among collaborators and partners struggling for the best results of the construction and operation of the metro has never been compromised.

The said enthusiastic endeavor survived, and it surpassed both technical and political problems of the "period of normalization", when a success was collective and failures endangered particular person labeled "guilty". This also might have been the reason why the solidarity of the whole group of the metro-builders staff was so compact even at various elicit quarrels and extraordinary events.



Obr. 9 Konstrukce ražené třílodi stanice s minimalizovanými pilíři (80. a 90. léta minulého století)

Fig. 9 Structure of a mined three-bay station with minimized pylons (the eighties and nineties of the last century)

ARCHITEKTURA TUNELOVÝCH STAVEB PRAŽSKÉHO METRA

ARCHITECTURE OF TUNNEL STRUCTURES OF THE PRAGUE METRO

ING. ARCH. EVŽEN KYLLAR, METROPROJEKT Praha, a. s.,
HLAVNÍ ARCHITEKT PRAŽSKÉHO METRA V LETECH 1976 – 1985

Tunel a architektura? Na první pohled související pojmy pouze společnou příslušností ke stavebnictví. Avšak v procesu přípravy staveb pražského metra je snad možné prokázat nejen paralelní existenci, ale partnerství a spolupráci.

Architektura, jako jeden z výrazně syntetických oborů lidské činnosti, se netýká pouze výtvarné, či doplňkové nebo dekorační stránky našeho hmotného prostředí, ale v jednom ze svých odvětví formuje územní, prostorovou, krajinnánskou i estetickou kompozici našich sídel a v jiných navrhuje uspořádání budov všeho účelu, organizaci prostorů a řešení interiérů. V těchto souvislostech má co říci specialistům řešícím stavební, statické, technické či provozní stránky staveb. Může ovlivnit zakládání, statiku staveb, technické zařízení, osvětlení, tvarování a barevný výraz částí nebo detailů staveb.

Architekti se podílejí na prostorové koncepci, dispozičním uspořádání jednotlivých objektů stanic metra i na jejich zakomponování do struktury města. Problematika lokalizace stanic, směrového a výškového řešení trasy a začleňování jednotlivých objektů do městského prostředí je vstupní činností, která je úzce propojená se záměry rozvoje města, vyjádřenými v územním plánu. Touto problematikou se zabývají nejčastěji urbanisté pracující pod hlavičkou města /magistrát, útvár rozvoje, nebo bývalého útvaru hlavního architekta/. Do této složité situace ještě vstupují nároky povrchových druhů dopravy – železnice, tramvají, autobusů, individuální automobilové i pěší, lodní i letecké. Sladit všechny a mnohé další požadavky v celoměstských souvislostech často vypadalo jako neřešitelný rébus, neboť město a život jeho obyvatel a návštěvníků je velmi proměnlivý a navíc existence metra jej sama proměňuje.

Koncepce stanice metra se musí nejen organicky zapojit do současného stavu městského prostředí, ale musí svým uspořádáním umožňovat určitou míru flexibility pro realizaci dnes nepředvídatelného rozvoje lokality. Předvídaní budoucnosti však musí být realistické a rozumné, aby nepodvázalo provoz v současnosti.

Samozřejmě při tvorbě celkové koncepce hrají roli technické možnosti, celkové náklady a společenská situace.

Tunelované – ražené – stanice se na pražském metru v současné době vyskytují pouze na trasách A a B. Trasa C má všechny stanice budované s povrchu, a tudíž jejich architektonické ztvárnění je podřízeno jiným zákonitostem a požadavkům, nežli je tomu u stanic hlubinných. První ražená stanice na trase C je v současné době v přípravě a bude o ní zmínka na konci tohoto článku.

Architektura stanic I. úseku trasy A byla ovlivněna nejen malou znalostí problematiky metra obecně, velmi výrazně politickou situací a zčásti i omezeností materiálového sortimentu včetně mizivé pružnosti dodavatelů. Tyto okolnosti poznamenaly především prostorovou skladbu nástupištních částí stanic. Pro pět ze sedmi stanic bylo rozhodnuto použít uspořádání trojlodní se zkrácenou střední lodí s mohutnými pilíři vymezujícími malý počet průchodů a osovou vzdáleností kolejí 23,40 m. Tato vcelku tradiční koncepce neumožňovala získat prostorově celistvý efekt nástupištního prostoru a bylo nezbytné pracovat s každým tunelem zvlášť. Pilíře nebyly vertikálními podporami, ale částmi horninového masivu tunelu. Podařilo se nepřevzít tradiční sovětské technologie na řešení interiérů stanic a byla vyvinuta zcela nová technologie suché montáže vnitřního pláště, která obsahuje protivodní plášť s podvěšeným roštem pro interiérový obklad hliníkovými lisovanými a eloxovanými deskami. Na pilířích a stěnách se uplatnila obdobná soustava žebér s vloženými deskami "deštníku" protivodní izolace a roštem list nesoucích drážkované kamenné desky.

Tehdejší hlavní architekt metra Dr. Otruba vypracoval princip sjednocení a rozlišení jednotlivých stanic: Klenebné části nástupištních tunelů budou jednotně obloženy deskami v barvě světlého bronzu, vyjadřujícími příslušnost k jedné trase A. Stanice se budou odlišovat barevnými pásy s odstupňovanou sytostí na stěnách za kolejištěm a rozličnou skladbou a volbou druhů kamenných obkladů na stěnách nástupiště a pilířů. Jednotná také byla úprava podlah na nástupišti. Eskalátorové tunely byly rovněž jednotně obkládány hliníkovými lamelami a osvětlovány příčnými deskami se zářivkami.

A tunnel and architecture? At first glance these terms cohere only because both of them belong to the vocabulary used in the field of civil engineering. Although, it might be possible to prove not only their parallel existence, but also their partnership and collaboration in the process of the Prague metro planning.

Architecture, as one of markedly synthetic fields of human activity, does not concern the artistic, or complementary or decorative aspects of our material environment only. It also, in one of its branches, forms the territorial, spatial, landscape and aesthetic composition of our settlements. In other branches, it designs layouts of buildings of all purposes, organisation of spaces and solution of interiors. In those connections, it addresses specialists solving the structural, static, technical or operational aspects of structures. It can influence foundation, the statics of structures, technical equipment, illumination, and shaping and colour-related expression of components or details of structures/buildings.

Architects participate in the spatial conception and disposition arrangement of individual objects of metro stations and in their incorporation into the urban structure.

The issue of the location of stations, the design of the alignment and level of a metro line and incorporation of particular metro structures into the urban environment is solved as first. This activity is closely connected with the intentions of the city development expressed in the municipal plan. This issue is the business of town planners, who mostly work with the city (the City Hall, the Department of Development or the former Department of the Chief Architect). In addition, this complicated situation is further complicated by the entry of the surface traffic modes, i.e. by railway, trams, buses, individual passenger and pedestrian traffic, shipping and air traffic. The task to reconcile all of them plus many other requirements in the city-wide context often seemed to be an insoluble rebus since the city and the life of its inhabitants and visitors are very changeable and, on top of that, the existence of the metro proper changes them.

Not only has the conception of a metro station to be incorporated into the existing status of the urban environment in an organic way, but it also has to enable a certain degree of flexibility for the development of the given locality, which is hardly predictable today. Although, the process of predicting the future must be realistic and reasonable so that it would not restrict the traffic at present.

Evidently, technical capabilities, overall cost and social situation must be considered when the overall conception is being developed.

Tunnelled, i.e. mined stations currently occur on the lines A and B of the Prague metro. All stations on the line C are cut-and-cover therefore their architectonic style abides by other rules and requirements than the style of deep-seated stations. First mined station on the line C is currently being under preparation. It will be mentioned at the end of this article.

The architecture of the stations on the section I of the line A was affected not only by a low level of knowledge of the metro issues in general, but also, very significantly, by the political situation, and partly by the limited material assortment including very low flexibility of contractors. Above all, those circumstances affected the spatial arrangement of the platform sections of the stations negatively. It was decided for 5 out of seven stations that the three-bay arrangement would be used with a shortened central bay, with mighty pylons delimiting a small number of passages, and the track centre distance of 23.40m. Due to this rather traditional conception a spatially integral effect of the platform area could not be achieved. It was necessary to work on each tunnel tube individually. The pylons were not vertical supports, they were parts of the rock mass of the tunnel. A success was that traditional Soviet techniques how to solve interiors of the stations did not have to be taken over. A completely new technique of a dry assembly of internal lining was developed, which comprises a leak diversion shell with a suspended framing for internal cladding using pressure moulded eloxally coated aluminium panels. A similar system of ribs with inserted sheets of the waterproofing insulation forming "an umbrella", and the framing supporting grooved stone slabs/tiles was applied on the pylons and walls.



Obr. 1 Střední tunel stanice Můstek IA (sloupová) s přestupním eskalátorem do stanice Můstek IB

Fig. 1 Central tunnel of the Mustek IA station (pillar type) with an interchange escalator leading to the Mustek IB station



Obr. 2 Střední tunel stanice Florenc IB (sloupová s rozšířenou střední lodí) se zaústěným přestupním schodištěm ze stanice Florenc IC

Fig. 2 Central tunnel of the Florenc IB station (pillar type with widened central bay) with an interchange escalator leading from the Florenc IC station

Dr. Otruba, then the chief architect of the metro, developed a principle of unification and contradistinction of individual stations: the vaults of the platform tunnels would be clad in unison in panels in the colour shade of light bronze, expressing the pertinence to one line, the line A. The individual stations would differ in coloured strips with graduating shade richness on the walls behind the rails, and in a varying composition and choice of the kinds of stone cladding on the walls of platforms and pylons. Also the platforms floor surface was unified. Escalator tunnels were also clad in unison in aluminium lamellas and illuminated by transversal panels with fluorescent tubes.

In a way, the Mustek station was exceptional. The architect managed to put through much more progressive structure of a station with columns and passages between them along the whole length of the platform. The main arguments used in the process of deciding on the choice of this type of station were the anticipated passenger traffic flows in peak periods resulting from the fact that the station was located in the city downtown and transfer of passengers to the line B was planned for the future. Those arguments were also helpful in deciding on the construction of the both escalator tunnels leading to the concourse booking hall at Mustek and to the underpass at the centre of Wenceslas Square. Today we can state that it was a fortune for this station that it was equipped at this top level not only in view of the traffic flow, but also, above all, in architectonic and psychological views. If we compare the spatial impression of the Muzeum and Mustek stations, both of which are interchange stations on the same line, we must state that the desired elimi-



Obr. 4 Boční tunel stanice Hloubětín na trase VB (pilířová s minimalizovanými pilíři)

Fig. 4 A side tunnel of the Hloubetin station on the line VB (pylon type with minimized pylons)



Obr. 3 Boční tunel stanice Muzeum IA (klasická pilířová)

Fig. 3 A side tunnel of the Muzeum IA station (conventional pylon type)

Svým způsobem výjimečnou stanicí je Můstek, kde se podařilo prosadit mnohem pokročilejší konstrukci sloupové stanice s průchody po celé délce nástupiště. Hlavním argumentem při rozhodování o volbě tohoto typu stanice byly předpokládané zátěžové proudy cestujících ve špičkách vyvolaných lokalizací stanice v centru města a při budoucím přestupu na trasu B. Tyto argumenty také napomohly výstavbě obou eskalátorových tunelů do vestibulu na Můstku a podchodu uprostřed Václavského náměstí. Dnes můžeme konstatovat, že bylo štěstím tuto stanicí vybavit na této vrcholné úrovni nejen z hlediska zátěží, ale především z hledisek architektonických a psychologických. Porovnáme-li prostorový vjem stanic Můstek a Muzeum – obou přístupných na téže trase, musíme konstatovat, že žádoucí eliminace nepříznivých efektů podzemních prostorů je podstatně účinnější při uvolnění, dostatečně opticky otevřeném uspořádání stanice sloupové, než stanice pilířové. Je samozřejmé, že sloupové – dražší stanice, jsou oprávněné v lokalitách s vysokými zátěžemi, ale je žádoucí tuto významnou zkušenost aplikovat na stanice pilířové.

Proto již na II. úseku trasy A bylo ověřeno použití užších, plně montovaných pilířů ve stanici Jiřího z Poděbrad. Ostatní stanice mají konstrukční uspořádání ještě tradiční, u stanice Želivského však s větším počtem průchodů. Nástupiště stanice Flora je standardní.

Principy trasy A založené na I. úseku byly plně uplatněny také na tomto úseku, zásadní změnou je však nová úprava konstrukce vnitřního pláště, umožňující dokonalejší ochranu proti průsakům vody. Takto modifikovaná konstrukce byla aplikována v plném rozsahu i na ostatních stavbách pražského metra.

Novinkou také bylo změněné opláštění eskalátorového tunelu, který však ještě nebyl rozšířen.

Architektura stanic trasy B vychází z již zmíněných záměrů docílit u hlubinných tunelových nástupištních prostorů stanic maximální uvolněnost a celistvost. Pro čtyři stanice I. úseku trasy B byl po zkušenostech ze II. úseku trasy A zkonstruován již ryze "pražský" model pilířové stanice se zmenšenými pilíři a zúžením osové vzdálenosti kolejí o 2,4 m na 21 m. Bylo dosaženo patrně nejvyšší subtility pilířů. Kromě toho bylo po dlouhých a úporných jednáních dosaženo pro všechny pilířové stanice většího počtu průchodů mezi střední a bočními loděmi. U stanice Anděl – tehdy Moskevská, dříve Lidická, prvotní název Anděl, na plnou délku 27 párů průchodů, u stanice Karlovo nám. a Nám. Republiky 18 párů a Národní třída 15 párů. Pro srovnání na nástupištních stanic trasy A: Hradčanská 7 párů průchodů, Malostranská jen 5, Staroměstská 8, Nám. Míru rovněž 8, Jiřího z Poděbrad 7, Flora 6, a Želivského 10 párů průchodů. Vrcholu prostorových možností v dané době bylo dosaženo u stanic Můstek a Sokolovská, u nichž se podařilo realizovat sloupové stanice s rozšířenými středními loděmi. Hlavním argumentem tohoto konstrukčního uspořádání byla přestupní úloha obou těchto stanic. Propojení jednotlivých tunelových prostorů sloupových stanic je napomáháno ještě podélnou orientací sloupů proti příčnému uspořádání pilířů stanic pilířových.

Kromě nástupištních prostorů se podařilo uvolnit i eskalátorové tunely rozšířením na 8,0 m.

Jestliže hlavního efektu prostorového uvolnění nástupiště stanic trasy B bylo dosaženo fyzickými úpravami konstrukce, musela též volba skladby a materiálů na formování vnitřního pláště odpovídat základnímu cíli, jenž spočíval v eliminaci stísněnosti podzemních staveb. Proto byla jako jediná motiv stanic trasy B zvolena bílá nepřímo osvětlená klenba všech veřejnosti přístupných prostorů, a prakticky z těchto důvodů byl také zvolen dosud neobvyklý materiál obkladů – sklo v různých podobách. S výjimkou stanice Anděl, která se stala politickým dilem, je většina pilířových stanic na celé trase B obkládána na stěnách a pilířích skleněnými tvarovkami nebo deskami vrstveného bezpečnostního skla Conex. Na sloupech a stěnách sloupových stanic jsou uplatněny keramické tvarovky, jež procházejí i částí přestupních chodeb.

Autor tohoto článku zastával tehdy funkci hlavního architekta a formuloval principy sjednocení a rozlišení stanic včetně materiálové stránky. Byl propagátorem aplikace skla a trůfá si dnes konstatovat, že všechny formy skla, uplatněné na trase B přes všechny problémy spojené s jejich ohrožením v provozu, jsou ve výsledném architektonickém výrazu úspěšnější, než poněkud folklorní či rustikální výraz všech druhů keramiky. Sklo je preciznější, vznešenější a více odpovídá velkorysosti prostorové koncepce nástupištních prostorů. Také více odpovídá současnému trendu architektury, propagující "high technology".

Pro montáž vnitřního pláště všech stanic trasy B byly vyvinuty či modifikovány metody suchých procesů, všechny prostory jsou chráněny proti průsakům podzemní vody izolačním pláštěm s podstatně vylepšenými deskami často z nerezového plechu.

Na obklad vrchlíků kleneb byl speciálně vyvinut melaminový kart Ecrona, který se v současné době používá při rekonstrukcích stanic na trase A, v eskalátorových tunelech a v jiných aplikacích. Rovněž pro trasu B byla vyvinuta tzv. svodidla obepínající sloupy a pilíře pro ochranu proti nárazům a nyní se používají již obecně.

Pro soustředění svítidel, rozhlasu, informačního systému a kabeláže byl pro trasu B vyvinut sdružený nosič – válcové těleso nad hranou nástupiště nebo ve středních lodích sloupových stanic. Technický vývoj umožnil podstatnou miniaturizaci, takže dnes již nemusí mít průměr 600 mm, ale přibližně 250 mm a je zavěšován nad hranu nástupiště při rekonstrukcích na trase A nebo v nových stanicích ostatních tras. Jeho modifikace v eskalátorových tunelech trasy B rovněž doznala úpravy a je součástí rekonstruovaných eskalátorových tunelů na trase A.

Vrcholem konstrukčního uspořádání tunelových nástupištních prostorů je bezesporu jednoduší řešení. Dovoluje v nejvyšší míře dosáhnout uvolněnosti a otevřenosti prostoru. Několikrát v minulosti se již schylovalo k aplikaci

of unfriendly effects of underground spaces is substantially more efficient at the relaxed, sufficiently optically opened disposition of the station with columns than that of the station with pylons. It is obvious that the more expensive column stations are beneficiary in locations with high traffic volumes, but it is advisable to apply this important experience on pylon stations too.

For that reason the use of narrower fully assembled pylons was tested subsequently on the section II of the line A, in the Jiřího z Poděbrad station. The structural arrangement of the other stations is still traditional, although in the Želivského station there is a bigger number of passages. A standard platform is in the Flora station.

The principles of the line A established on the section I were fully applied on this section too although, a principal modification consisted in a new design of the structure of the internal cladding, which allowed a more perfect protection against seeping water. This modified structure was applied in full extent on the other sites of the Prague metro.

Another innovation was the changed cladding in the escalator tunnel. Although, this one has not been spread yet.

The architecture of stations on the line B stems from the above referred to intentions to achieve maximal relaxation and integrity of the platform sections of stations at deep-seated tunnels. Based on the experience gained on the section II of the line A, a purely "Prague" model of a pylon station with reduced pylons and the track centre distance reduced by 2.4m to 21m was designed for 4 stations on the section I of the line B. Probably the highest subtlety of pylons was achieved there. In addition, a bigger number of the passages between the central and side bays was achieved for all the pylon stations after tedious and tenacious discussions. 27 pairs of the passages along the whole length of the platform were in the Andel station, then called Moskevská station, Lidická before, originally Andel. The Karlovo Namesti and Namesti Republiky stations had 18 pairs, and the Narodni Trida station 15 pairs. For comparison with the station platforms on the line A: the Hradcanska station 7 pairs of passages, Malstranska 5 only, Staromestska 8, Namesti Miru also 8, Jiřího z Poděbrad 7, Flora 6, and Želivského 10 pairs of passages. The top of the spatial potential available at the time given was reached at the Můstek and Sokolovska stations, where column stations with widened central bays were successfully constructed. The main argument for this structural arrangement consisted in the interchange role of the two stations. Interconnection of the individual tunnel spaces in the column stations is improved thanks to the longitudinal orientation of the columns as opposed to the transversal arrangement of pylons in pylon stations.

In addition to the relaxation of the platform spaces, also escalator tunnels were relaxed by their widening to 8.0m.

Since the main effect of the spatial relaxation of the station platforms on the line B was achieved by physical modification of the structure, also the choice of the composition and materials used for the forming of the internal cladding had to correspond to the basic target, which consisted in the elimination of narrowness of underground structures. For that reason, white coloured, indirectly illuminated vaults in all public circulation spaces were elected as a unifying motif for all stations on the line B. Practically for the same reasons a till then unusual material of the cladding was chosen, i.e. various forms of glass. With the exception of the Andel station, which became a political project, the majority of the pylon stations on the whole line B is clad on the walls and pylons by glass shaped pieces or panels of Conex laminated safety glass. Terracotta tiles are applied on the columns and walls of column stations. This cladding is also on the walls of a part of passenger interchange passages.

The author of this article performed the function of the chief architect then, and formulated the principles of unification and contradistinction of stations including the aspect of materials. He promoted the application of glass, and even today he dares to state that all forms of glass applied on the line B, despite all troubles associated with the thread they are exposed to during the metro operation, are in the resultant architectonic expression more successful than the rather folkloric or rustic expression of all kind of terracotta. Glass is more precise, more majestic, and it better corresponds with the breadth of the spatial conception of the platform spaces. It also better corresponds with the contemporary trend in the architecture promoting the high technology.

Dry processes techniques were developed or modified for installation of the internal cladding of all stations on the line B, all spaces are protected against seeping ground water by an insulation shell, with substantially improved panels often made from stainless steel sheets.

Especially for the cladding of the vault crowns, melamine-based panels Ecrona were developed, which are currently used in refurbishment of the stations on the line A, in escalator tunnels and for other applications. Also for the line B, there were developed so-called barriers embracing the columns and pylons to protect them against impacts. Nowadays, their use is a commonplace.

To concentrate luminaires, public broadcast, information system and wiring, there was a combined bearer, i.e. a cylindrical body above the platform edge or in the central bays of column stations. The technical development made a significant miniaturisation possible to such a degree that the diameter of the bearer does not have to be of 600mm any more, but roughly 250mm only. It is suspended above the platform edges as a part of refurbishment operations on the line A or in new stations of the other lines. Its variant developed for escalator tunnels was also modified, and became a part of the refurbished escalator tunnels on the line A.

Undoubtedly, the top level of the structural arrangement of platform spaces in tunnels is represented by the one-vault design. It allows achieving the highest level of relaxation and openness of the space. Several times in the

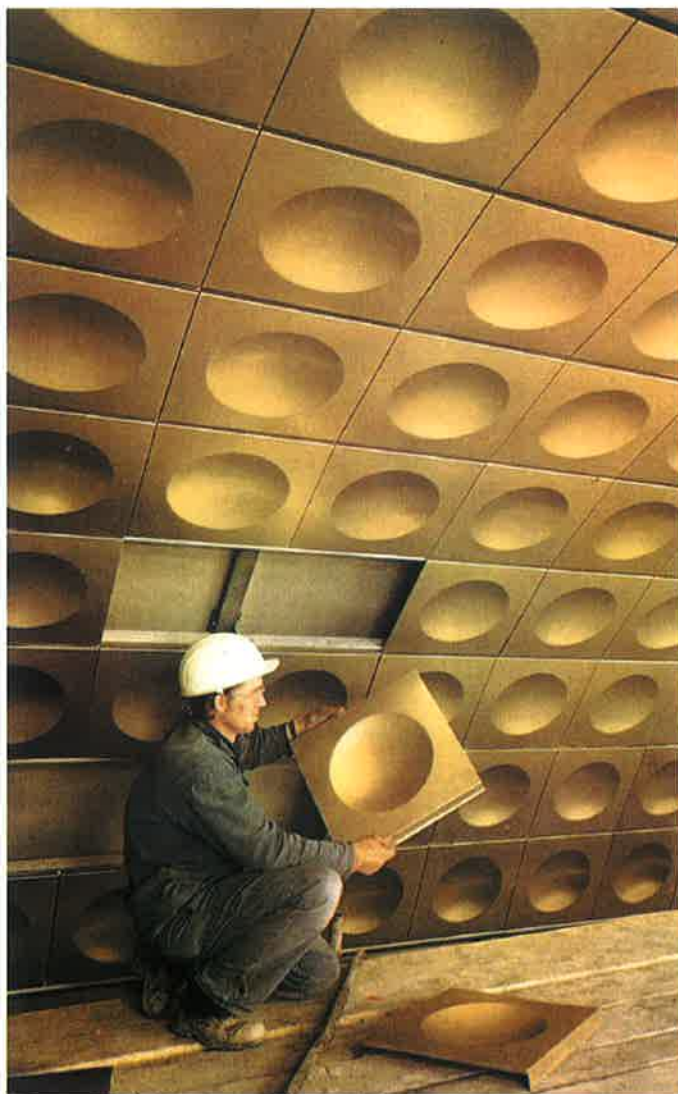
tohoto nejúčinnějšího způsobu prostorové koncepce. Dosud však zřejmě vždy zapůsobila složitost a patrně i cena nad výsledným efektem. Lze však mít zato, že souhrnná cena započítávající tunelovou konstrukci i náklady na vnitřní plášť v porovnání s např. pilířovou stanicí nebo dokonce sloupovou by v přijatelných geologických poměrech nemusela vyjít jednoznačně v neprospěch jednodušší stanice. Zkušenosti ze silničních tunelů Strahovského a nyní i z Mrázovky mohou přinést snížení problémů i v podmínkách pražské geologie. Stanice Kobylisy na IV. úseku trasy C se řešením nástupiště na jednodušším principu dostává na špičku prostorové koncepce a stane se zcela jistě konkurentem architektonicky i konstrukčně nejvýznamnějších stanic pražského metra. Představa o vzhledu jejího nástupiště je na obrázku na titulní straně.

Snad je možné vyjádřit názor, že stejně jako na trase A, tak i na trase B se podařilo v procesu přípravy najít řadu nových či neobvyklých řešení architektury tunelových staveb, které se staly časem standardními nejen pro metro, ale i jinde. Všechny formy uspořádání vnitřních plášťů jsou však nahraditelné a změnitelné podle požadavků doby za relativně přijatelný peníz. Avšak značně dráže vycházejí úpravy tunelových konstrukcí, pokud jsou vůbec reálné, jednalo se o zásadní prostorovou změnu. Proto si dovoluji apelovat na velkorysost při koncipování a dimenzování podzemních prostorů, které budou sloužit veřejnosti s cílem eliminovat nebo alespoň omezit nebezpečí stísněnosti zejména u tunelových staveb, jakými jsou ražené stanice podzemních rychlodrah.

Žádná dekorace nemůže zcela vyloučit pocit strachu z podzemí, když je daný prostor fyzicky malý. Pro příklad lze navštívit první linku buda-peštského metra s pětiodními stanicemi složenými z traťových tunelů. Dovolují si předpokládat, že i tvrdý úsporný mechanismus při uvolňování prostředků na tunelové stavby vezme v úvahu, že jsou realizovány pro službu veřejnosti a že musí poskytovat kvalitní prostředí těm, kteří je užívají – cestujícím.

past the application of this most efficient kind of the spatial conception was very close. However, the aspect of complexity, and probably the aspect of cost too, have always prevailed over the aspect of the resulting effect. Although, it can be assumed that the aspect of the total cost covering the cost of the tunnel structure and the cost of the internal cladding, compared for example to a pylon station or even a column station, would not have to be, under acceptable geological conditions, unambiguously disadvantageous for the one-vault station. The experience gained on the Strahov road tunnel and currently on the Mrázovka tunnel too can be used for mitigation of problems even in the conditions of the Prague geology. The Kobylisy station on the section IV of the line C is winning primacy in the spatial conception through the design of its platform based on the one-vault principle. Certainly it will become a competitor of the architecturally and structurally most prominent stations of the Prague metro. Idea of its appearance is in the cover page picture.

It might be possible to express the opinion that a series of new or unusual solutions of the architecture of tunnel structures were found in the process of planning both the line A and B, which have become a standard not only for the metro, but also elsewhere. However, all forms of the internal cladding design are replaceable with time and changeable according to the future demands at a relatively low cost. On the other hand, much more expensive are modifications of tunnel structures, if they are feasible, in a case of a change in the spatial design. For that reason I dare to appeal for broad-mindedness in outlining and dimensioning the underground spaces which will serve the public, taking into consideration the aim of eliminating or at least limiting the risk of creation narrow confined spaces, namely at such the tunnel structures as mined stations on underground high-speed lines.



Obr. 5 Obkladové desky staničních tunelů trasy A
Fig. 5 Cladding panels in station tunnels of the line A



Obr. 6 Montáž obkladu středního staničního tunelu ražené stanice trasy A
Fig. 6 Installation of cladding in a central tunnel of a driven station on the line A

MODELOVÁNÍ VLIVU PODPŮRNÝCH TECHNOLOGICKÝCH OPATŘENÍ NA REDUKCI DEFORMACÍ TUNELOVÉHO NADLOŽÍ

MODELLING OF THE EFFECT OF SUPPORTING TECHNICAL MEASURES ON REDUCTION OF TUNNEL OVERBURDEN

PROF. ING. JIŘÍ BARTÁK, DrSc., ČVUT FSv
ING. MATOUŠ JILAR, M.Sc., SATRA, s. r. o.

1. ÚVOD

Severozápadní sektor městského dopravního okruhu v Praze obsahuje tři významné silniční tunely velkých profilů. Zatímco Strahovský tunel je již v provozu, tunel Mrázovka je ve výstavbě a tunel Blanka (pod Stromovkou) je ve stadiu projektové přípravy. Kromě těchto staveb je plánována výstavba několika dalších silničních tunelů na vnějším obvodu města (tzv. expresním okruhu). Pro většinu těchto tunelů jsou charakteristické velmi obtížné geologické poměry pražského ordovíku (v některých oblastech případně siluru či svrchního proterozoika); v převažujícím ordovíku jsou problematické jak málo stabilní horninové masivy jílovitých břidlic, rozrušené téměř vždy řadou tektonických poruch, tak obtížně rozpojitelné prokřemenělé břidlice a křemence. Další společnou charakteristikou výstavby nových tunelů bude s velkou pravděpodobností použití Nové rakouské tunelovací metody, i když u tunelu Blanka a následujících není radno v tomto "punktu" předbíhat událostem.

Při ražbě tunelů velkých profilů pomocí NRTM v prostoru městské zástavby je velmi důležité předem co nejdříve stanovit prostorový charakter a velikost budoucích deformací tunelového nadloží a zejména povrchu území. Udržení deformací horninového masivu, zákonitě vyvolaných ražbou podzemního díla, v mezích neohrožujících stabilitu objektů v nadloží, je jedním z preferovaných zájmů všech účastníků výstavby. Pro věrohodnou kvantifikaci vlivu různých technologických postupů a podpůrných opatření při ražbě pomocí NRTM na velikost deformací nadloží jsou dobře použitelné výsledky matematického modelování, konfrontované s některými zásadními výstupy observačních měření, charakterizujícími skutečné provedení díla. Následující analýza vlivu různých technologických opatření na redukci deformací, která je vztahována k úspěšně probíhající ražbě tunelu Mrázovka, dává velmi názorný kvantitativní přehled a může být využita pro kvalifikovaně posouzení účinnosti možných podpůrných opatření v podobných geologických podmínkách.

Ražba západní tunelové trouby (ZTT) tunelu Mrázovka započala od severního portálu na začátku roku 1999 (Eisenstein, Salač, Škrábek, Zapletal, 2000). Členění výrubu bylo navrženo horizontální, což obecně znamená poměrně jednoduchou postupnou ražbu a primární vystrojení kaloty, jádra a dna tunelu. Kalota však měla poměrně velké rozměry (šířka 16 m, výška 6,5 m) a brzy po začátku stavby se začaly ve velmi obtížných geologických poměrech (řada po sobě následujících tektonických poruch) projevat deformace provizorního ostění tunelu a povrchu území nad tunelem, které překračovaly očekávané hodnoty deformací stanovené na základě výsledků z několika alternativ matematických modelů. Pro výstavbu tunelu použita technologie Nové rakouské tunelovací metody, která principiálně umožňuje způsob vystrojení operativně přizpůsobovat měnícím se podmínkám ražby, správně využila v nepříznivých podmínkách možných podpůrných opatření; kromě zpevňující injektáže, prováděné v předstihu z průzkumné štoly, bylo realizováno kotvení, rozšiřování pat kaloty, mikropilotové podepření pat kaloty, zvažovala se možnost uzavírání kaloty provizorní spodní klenbou (invertem). Navzdory těmto opatřením se dařilo deformace ustálit vždy až po uzavření celého primárního ostění; zásadní obrat ve velikostech dílčích i konečných deformací přinesla až v dalších profilech provedená změna členění čelby z horizontálního na vertikální.

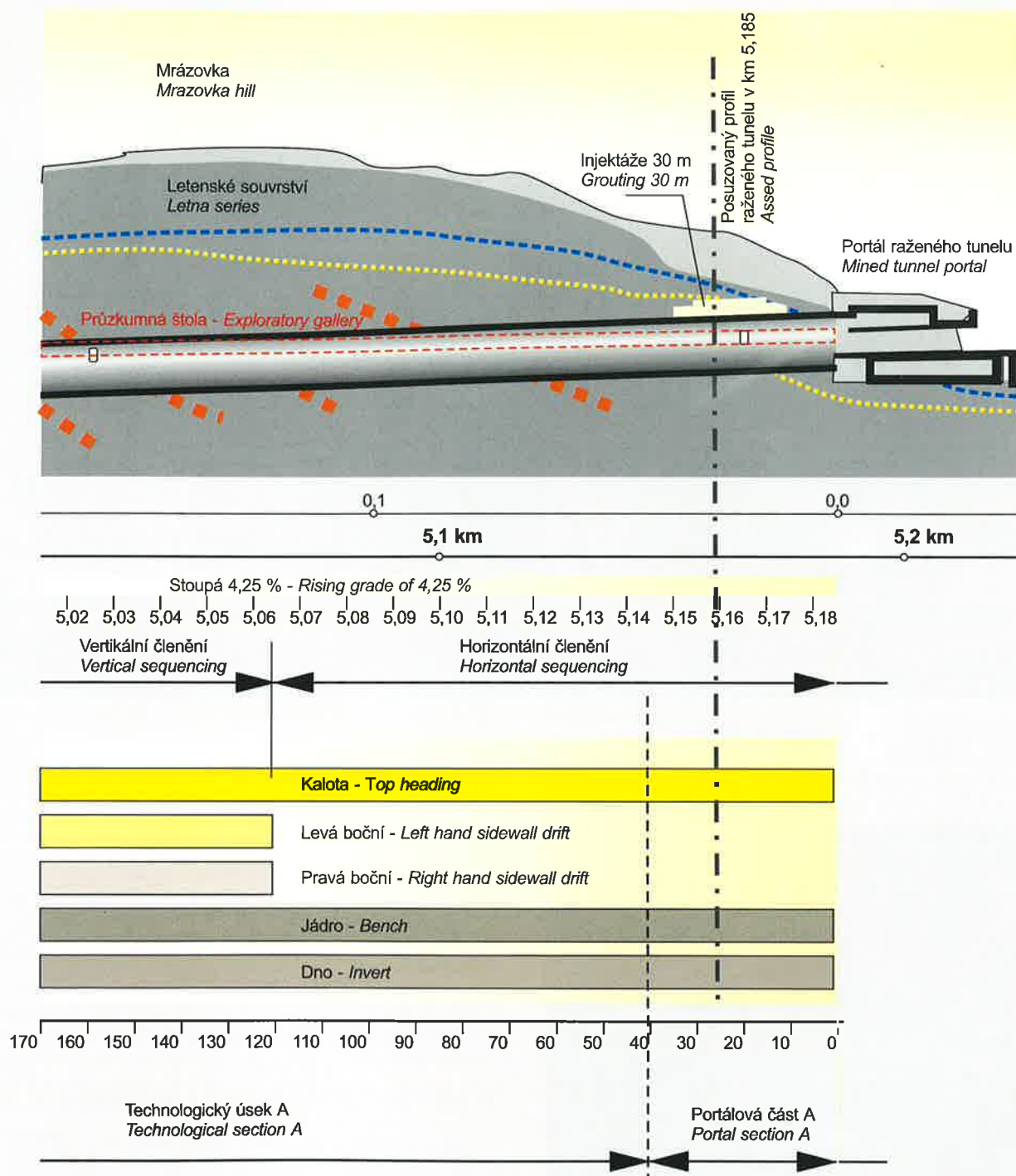
Cílem tohoto příspěvku je kvantitativní zhodnocení účinnosti jednotlivých podpůrných opatření. K danému rozboru byl vybrán profil km 5,160 (obr. 1.). Tento profil patří mezi tzv. vyhodnocovací profily, do nichž je u tunelu Mrázovka vždy soustředěna většina typů používaných observačních měření. Na základě výsledků měření byly provedeny sblížovací výpočty (Hilar,

INTRODUCTION

The north-western sector of the City Circle Road in Prague contains three major road tunnels of large profiles. While the Strahov tunnel has already been operating, the Mrázovka tunnel is under construction and the Blanka tunnel (under the Stromovka park) is in the phase of planning. Apart from those projects, construction of several other road tunnels is projected on the external city loop road (so-called express ring). Very difficult geological conditions of the Prague Ordovician, in particular areas of the Silurian or Upper Proterozoic, are characteristic of most of those tunnels. Both little stable rock massifs of clayey shales (almost always broken by a series of tectonic faults) and with difficulty excavatable quartziferous shales and quartzites are problematic in the prevailing Ordovician. In all probability, another common characteristic of new tunnels development will be the use of the New Austrian Tunnelling Method. Although, for the Blanka tunnel, it is not advisable to outrun events regarding this aspect.

It is very important for excavation of large-profile tunnels by the NATM in an area of urban development to determine the spatial character and the magnitude of future deformations of the tunnel overburden, namely those of the area surface, as accurately as possible. Keeping the deformations of the rock massif induced regularly by excavation of an underground works within the limits not jeopardising the stability of buildings on the surface is one of preferred objectives of all participants of the construction works. Results of mathematical modelling confronted with some basic outputs of observational measurements characterising the real execution of the works are suitably applicable for a plausible quantification of the influence of various techniques and supporting technical measures applied on a NATM excavation. The following analysis of the influence of various technological measures on reduction of deformations, which relates to the successfully progressing drive of the Mrázovka tunnel, provides a very graphic quantitative overview, and can be utilised for a qualified assessment of effectiveness of the supporting measures applied in similar geological conditions.

The driving of the western tunnel tube (WTT) of the Mrázovka tunnel started from the north portal at the beginning of the year 1999 (Eisenstein, Salač, Škrábek, Zapletal, 2000). Horizontal sequencing of the excavation was designed. Generally, this sequencing means a rather simple successive excavation and installation of primary lining of the tunnel top heading, bench and invert. However, the dimensions of the top heading were large (width of 16m, height of 6.5m), and deformations of the temporary tunnel lining and the area surface above the tunnel, which crossed the anticipated values of the deformations determined on the basis of results gained from several alternatives of mathematical models, started to appear due to the very difficult geological conditions encountered (a series of successive tectonic faults) soon after the beginning of the construction work. The New Austrian Tunnelling Method applied on the tunnel construction, which in principle allows an operative accommodation of the support system to changing excavation conditions, reasonably utilised the supporting measures applicable in the unfavourable conditions, i.e. anchoring, widening of the top heading legs and micropile support under the top heading legs were performed in addition to reinforcing grouting, performed in advance from the exploratory gallery. Also an option of closing the top heading by a temporary invert



Obr. 1 Podélní řez tunelem Mrázovka v oblasti portálu (podklad SATRA, s.r.o.)

Fig. 1 Longitudinal section through the Mrazovka tunnel in the area of the north portal (by SATRA, s.r.o.)

2000), které chování a výstupy matematického modelu přizpůsobily (zejména prostřednictvím cílené selekce vstupních geotechnických parametrů) zmíněným výstupům monitoringu. Vliv jednotlivých podpůrných opatření na velikost deformací tunelu a nadloží byl kvantifikován porovnáním odpovídajících svislých deformací stropu tunelu s hodnotou vypočtenou pro tzv. upravený model.

Nutno konstatovat, že zvětšené deformace, provázející ražbu s horizontálně členěnou čelbou (obr. 2), nikde nevedly ke ztrátě stability horninového masivu a škodám na objektech v nadloží a na povrchu území. Poklesy terénu v lesoparku Mrázovka nebyly prakticky vizuálně patrné a po asi 120 m ražby byly výrazně a trvale sníženy vlivem přechodu na vertikální členění čelby (obr. 3.) pod přípustnou deformací terénu 60 mm.

2. POPIS VÝCHOZÍHO MODELU

Numerická analýza byla prováděna pomocí programového systému PLAXIS. Tento program je založen na algoritmu metody konečných prvků a je

was considered. Despite those measures, stabilisation of the deformations was always achieved after the closure of the whole primary lining only. A principal turn in the magnitude of partial and final deformations was successfully reached later, thanks to the change in the face sequencing from the horizontal to the vertical one.

The objective of this article is to assess the effectiveness of the individual supporting measures quantitatively. The profile at km 5.160 (see Fig. 1) was selected for this analysis. This profile is one of so-called assessment profiles, which most types of observational measurements used on the Mrazovka tunnel is concentrated to. On the basis of the results of the measurements, convergence calculations were made (Hillar, 2000), which adapted (primarily by means of a structured selection of input geological parameters) the behaviour and outputs of the mathematical model to the above referred to monitoring outputs. The influence of particular supporting measures on the magnitude of the tunnel and overburden deformations was quan-



Obr. 2 Horizontální členění výrubu v oblasti severního portálu
Fig. 2 Horizontal sequencing of tunnel face at the north portal (photo J. Altman)



Obr. 3 Výrub s vertikálním členěním při uzavírání spodní klenbou
Fig. 3 Vertical sequencing at closing of the excavation by invert (photo J. Altman)

speciálně zaměřen na vyšetřování napjatosti a deformací geotechnických konstrukcí. Nevýhodou použité verze programu je nemožnost realizace prostorového modelu, takže výpočty byly provedeny na základě obvyklého předpokladu rovinné deformace. Prostorové chování oblasti čela výrubu a vstřížení jeho vlivu na deformace a napjatost masivu bylo simulováno často užívaným postupem zatěžování výrubu a ostění formou tzv. β -metody. Hlavní myšlenka této metody spočívá v tom, že původní napjatost P_x , působící v okolí budoucí tunelové trouby, je rozdělena na dvě části: na část $(1-\beta)P_x$, působící na nevystrojený výrub a na část βP_x , působící na vystrojený tunel. Při aplikaci β -metody pro účely modelování členěné čelby tunelu je postup

titified by means of a comparison of relevant vertical deformations of the tunnel roof with the values gained by calculation made for so-called modified model.

It must be stated that the increased deformations attending the excavation with horizontally divided face (see Fig. 2) did nowhere cause any loss of stability of the rock massif and any damage to the buildings at the surface level of the area. Virtually, the surface subsidence in the Mrazovka forest park was not visually recognisable, and it was significantly and lastingly reduced after about 120m of the initial excavation advance under the allowable surface deformation limits, as a result of the transition to the vertical face sectioning (see Fig. 3).

2. DESCRIPTION OF THE STARTING MODEL

The numerical analysis was carried out by means of the PLAXIS program system. This program is based on the algorithm of the Finite Element Method, and is especially focused on examination of state of stress and deformations of geotechnical structures. The fact that creation of a 3D model is impossible for the program version used is its disadvantage. Three-dimensional behaviour of the excavation face area, and correct description of its influence on the deformations and the state of stress of the massif, were simulated by means of a frequently used procedure of loading the excavation and lining using the so-called β -method. The main idea of this method consists in the principle that the original state of stress p_k existing in the vicinity of a future tunnel tube is divided into two parts, i.e. part $(1-\beta)p_k$, acting on the unsupported excavation, and part βp_k , acting on the supported tunnel. The procedure is similar for application of the β -method for the purpose of modelling a divided tunnel face, although it is necessary to repeat it with the real state of stress for each partial excavation.

Geometry of the starting model of the profile at km 5.160 covers an area about 200m wide and 110m high. The modelled area is divided into eight basic sub-areas according to the types of the rock encountered (see Fig. 4). The strata are layered sub-horizontally, the tectonic fault declines at an angle to horizontal plane of about 30°. The surface of the modelled area corresponds to the actual declination of the slope towards the east.

The rock mass behaviour was approximated by means of the Mohr-Coulomb

obdobný, je však nezbytné jej opakovat s aktuálním napjatostním stavem pro každý dílčí výrub.

Geometrie výchozího modelu profilu km 5,160 zahrnuje oblast o šířce 200 m a výšce 110 m. Modelovaná oblast je rozdělena na osm základních podoblastí podle typů zastížených hornin (obr. 4.). Vrstvy jsou uloženy sub-horizontálně, tektonická porucha je odkloněna od vodorovné roviny o asi 300. Povrch modelované oblasti odpovídá skutečnému sklonu svahu směrem k východu.

Chování horninového masivu bylo aproximováno elasto-plastickým Mohr-Coulombovým modelem. Vstupní parametry horninového masivu (E_{del} , ν , γ) byly stanoveny na základě výsledků inženýrsko-geologického průzkumu (Hudek, 1999). Modul přetvárnosti tektonické zóny byl určen podle výsledků zatěžovacích zkoušek deskou.

Ostění průzkumné štoly je rozděleno na horní část (klenba s opěrami) a dno, ostění vlastní tunelové trouby se skládá z horní klenby, opěr a spodní klenby. Parametry ostění (EA , EI , ν , γ) byly stanoveny v souladu s realizační dokumentací (Němeček et al., 2000). Vnitřní oblast tunelové trouby byla rozdělena na tři podoblasti, které vystihují horizontální členění čelby na kalotu, jádro a dno. Modelování realizace tunelu bylo rozděleno do devíti základních stavů, které vystihují průběh pobírání a vestrojení. Simulace těchto stavů byla provedena pomocí aktivace a deaktivace jednotlivých oblastí modelu.

4. VERIFIKACE VÝCHOZÍHO MODELU

Pro ověření vhodnosti matematického modelu se středními hodnotami vstupních geotechnických parametrů (výchozí model) bylo použito porovnání teoreticky zjištěných deformací s velikostmi získanými z monitoringu (Kolečkář, Zemánek, 2000). Průběh nárůstu modelových deformací sice poměrně dobře vystihoval časový průběh měření, absolutní velikost vypočtených deformací však byla o asi 35 % nižší. Zajímavé bylo zjištění, že vypočtené deformace velmi dobře vystihovaly deformace měřené v den uzavření spodní klenby tunelu (rozdíl sedání povrchu 5 mm).

Vzhledem k nesouladu vypočtených deformací se skutečností bylo nutné výchozí model upravit. Provedená parametrická studie prokázala, že souběh nepříznivých hodnot geotechnických parametrů horninového masivu (v mezích stanovených IG průzkumem) může být příčinou vzrůstu skutečných deformací nad hodnoty vypočtené pomocí matematického modelu. Např. při použití deformačních modulů z okrajů stanovených intervalů se vypočtené deformace terénu pohybovaly od 102 mm do 232 mm.

Z tohoto důvodu byly velikosti vstupních geotechnických parametrů horninového masivu v modelu upraveny tak, aby vypočtená svislá deformace stropu tunelu odpovídala skutečnosti. Všechny vstupní parametry byly voleny v limitech určených IG průzkumem, velikost modulů přetvárnosti nebyla nikdy volena přímo na spodní hranici stanovených intervalů. Vypočtené hodnoty deformací byly porovnány s extenzometrickým měřením; lze konstatovat, že výstupy upraveného modelu vykazují poměrně velmi dobrou shodu s měřenou skutečností (tab. 1), a proto byla veškerá další analýza prováděna s upravenými vstupními parametry. Výsledné vypočtené svislé deformace vrcholu klenby tunelu (s uvažováním vlivu průzkumné štoly) byly 215 mm (obr. 5.).

Tab. 1 Srovnání poklesů nadložních vrstev (bez vlivu průzkumné štoly)

Table 1 Comparison of subsidence of the overhead layers (without influence of the exploratory gallery)

Označení (viz. obr.4) Marking (see Fig.4)	Hloubka pod povrchem Depth under the surface (m)	Výchozí model Starting model (mm)	Upravený model Modified model (mm)	Extenzometrické měření Extensometric measurement (mm)
A	0	105	140	146
B	11,7	116	174	178
C	15,7	122	183	182
D	17,7	127	189	187
E	18,5	135	199	194

5. VÝSLEDKY MODELOVÁNÍ PODPŮRNÝCH OPATŘENÍ

Ve zkoumaném profilu km 5,160 byla modelována sanační (zpevňující) injekce z průzkumné štoly, dále kotvení 16 svorníky typu SN délky 4 – 6 m), mikropilotové podepření pat ostění kaloty (trubky C 70/7 mm délky 9 m), neprovedená dočasná spodní klenba kaloty a neprovedené vertikální členění čelby; byl sledován i vliv průzkumné štoly. Výstupy modelů odpovídajících těmto podpůrným opatřením jsou vztaženy k celkovým svislým deformacím stropu tunelu upraveného modelu, v nichž je zahrnut i vliv průzkumné štoly.

model. Input parameters of the rock mass (E_{del} , n , c , ϕ , γ) were determined on the basis of the engineering-geological investigation results (Hudek, 1999). The modulus of deformation of the tectonic zone was determined according to the results of plate bearing tests.

The lining of the exploratory gallery is divided into an upper part (roof with side walls) and floor, the lining of the tunnel tube proper consists of the roof, side walls and invert. Parameters of the lining (EA , EI , ν , γ) were determined in compliance with the detailed design (Němeček et al., 2000). Internal area of the tunnel tube was divided into three sub-areas, which correspond with the horizontal sequencing of the tunnel face into top heading, bench and invert. The modelling of the tunnel construction process was divided into nine basic states, which describe the process of excavation and the support installation. Simulation of those states was carried out by means of an activation and deactivation of the individual areas of the model.

4. VERIFICATION OF THE STARTING MODEL

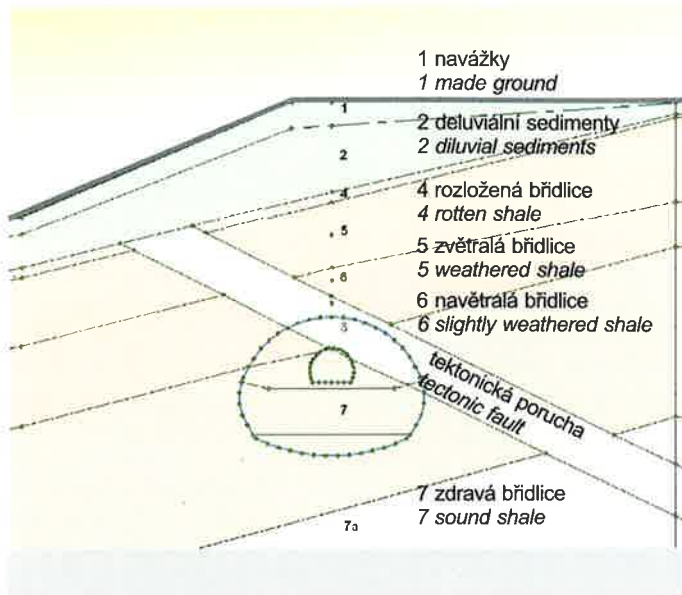
A comparison of the theoretically determined deformations with the values obtained by monitoring (Kolečkář, Zemánek, 2000) was used for the verification of applicability of the mathematical model using mean values of the input geotechnical parameters (the starting model). The curve illustrating the increase in the model deformations with time was similar to the curve using measured values, although the absolute magnitude of the computed deformations was lower by about 35%. An interesting finding was that the computed deformations described the deformations measured on the day of closing the tunnel invert very well (the difference in the surface subsidence of 5mm).

Because of the disharmony between the computed deformations and the reality, it was necessary to modify the starting model. A parametric study, which was developed, proved that the concurrence of unfavourable values of the geotechnical parameters of the rock mass (within the limits determined by the geotechnical investigation) could be the cause of the increase in real deformations over the values computed by means of the mathematical model. For example, when moduli of deformation at the limits of the determined intervals were used, the computed deformations of the surface ranged between 102mm and 232mm.

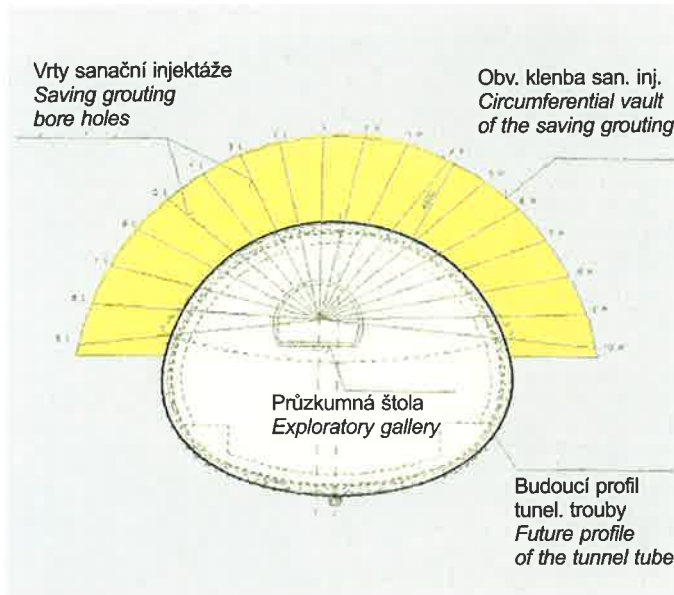
For that reason, the magnitude of the input geotechnical parameters of the rock mass was changed so that the computed vertical deformation of the tunnel roof corresponded with the reality. All the input parameters were chosen within the limits determined by the EG investigation, the magnitude of deformation moduli was never chosen just at the lower limit of the specified intervals. The computed values of deformations were compared with the extensometric measurement. It is possible to state that the outputs of the modified model exhibit rather very good consistency with the measured reality (see Tab. 1), therefore all the remaining analysis was carried out with the use of the changed input parameters. The resulting computed vertical deformations of the tunnel crown, with the influence of the exploratory gallery taken into consideration, were of 215mm (see Fig. 5).

5. RESULTS OF THE SUPPORTING MEASURES MODELLING

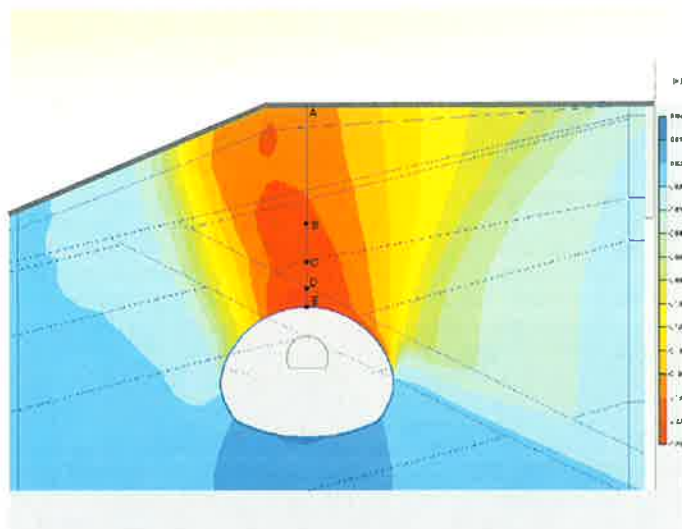
Saving (reinforcing) grouting injected from the exploratory gallery, anchoring by 16 SN rockbolts 4-6m long, micropile support of the legs of the top heading lining (pipes dia. 70/7mm, 9m long), not performed temporary invert of the top heading, and not performed vertical sectioning of the face were modelled at the investigated profile at km 5.160. The influence of the exploratory gallery was also monitored. The outputs of the models corre-



Obr. 4 Rozdělení modelu na podoblasti dle typů hornin
Fig. 4 Division of the model into sub-areas according to the rock types



Obr. 6 Schéma provedení zpevňující injektáže
Fig. 6 Scheme of the saving grouting execution



Obr. 5 Svislé deformace horninového masivu s označením extenzometrických bodů
Fig. 5 Vertical deformations of the rock massif with extensometric points marked

5.1 MODELOVÁNÍ ZPEVŇUJÍCÍ INJEKTÁŽE

Injekční vrty byly provedeny z jednoho ohniska v ose průzkumné štoly ve sklonu 30 až 36° od podélné osy tunelu a radiálně rozvinuty, čímž vytvořily jeden vějíř (obr. 6.). Tyto vějíře byly od sebe vzdáleny v podélném směru 3,5 m. Po realizaci byly vrty osazeny injekčními ocelovými manžetovými trubkami 35 / 5,0 mm. Jako injekční směs byla použita bentonitem stabilizovaná cementová směs (Šperger, Hrabánek, 2000).

Vyhodnocení efektu injektáže na zlepšení mechanických vlastností horninového masivu bylo provedeno presiometricky (Hudek, Verfel, Chmelař, 1998). Kontrolní presiometrické zkoušky byly situovány do jádrových vrtů průměru 60 mm, které byly umístěny do vějířů ležících uprostřed mezi injekčními vějíři. Z hlediska posouzení deformací masivu při tunelování byl nejdůležitějším výsledkem statisticky vyhodnocených zkoušek presiometrický modul přetvárnosti, který byl stanoven vždy z lineární pseudoelastické fáze přetvárného diagramu. Z výsledků série presiometrických zkoušek vyplynulo:

- Deformační modul proinjektovaných hornin se zvětšil v průměru o 64 %.
- Soudržnost proinjektovaných hornin se zvětšila v průměru o 49 %.

Do geomechanického modelu bylo zvýšení tuhosti proinjektované oblasti horninového masivu zavedeno zvýšením modulu přetvárnosti E_{def} o 64 % jednotlivě pro všechny proinjektované vrstvy. To odpovídá závěrům provedených injektážních pokusů; ve více rozrušených vrstvách horninového

masivu odpovídající opatření jsou vztahována s agregovanými vertikálními deformacemi stropu tunelu v modifikovaném modelu, který také obsahuje vliv explorační štoly.

5.1 MODELLING OF THE REINFORCING GROUTING

Grouting boreholes were drilled from one centre on the centre line of the exploratory gallery, at an angle of 30 to 36° from the longitudinal axis, in a radial array, creating one fan (see Fig. 6). These fans were 3.5m apart in the longitudinal direction. Sleeve grouting steel pipes (tube-a-manchette) dia. 35/5.0mm were inserted into the boreholes after the drilling. Cementitious mixture stabilised by bentonite was used as the grouting mix (Šperger, Hrabánek, 2000).

Evaluation of the effect of the grouting on improvement of mechanical properties of the rock mass was performed by means of pressiometry (Hudek, Verfel, Chmelař, 1998). The pressiometric check tests were situated into core boreholes of 60mm in diameter, which were placed into fans located in the middle between the grouting fans. From the point of view of evaluation of the rock mass deformations during tunnelling, the most important result of the statistically evaluated tests was the pressiometric modulus of deformation, which was always derived from the linear pseudo-elastic phase of the stress-strain curve. It followed from the results of the series of the pressiometric tests that:

- The modulus of deformation of the grouted rock increased by 64% on the average.
- Cohesion of the grouted rock increased by 49% on the average.

The increase in the toughness of the grouted area of the rock massif was introduced into the geomechanical model through increasing the deformation modulus E_{def} by 64%, individually for all grouted layers. This corresponds with the conclusions of the grouting trials performed; the results of the grouting were worse in more disturbed layers of the rock massif than those achieved in more compact areas. The increase in shear strength of the rock mass was introduced into the model by a similar manner.

The outputs determined by the modelling show that the grouting performed causes reduction of deformations by 22mm (about 10%). One of the reasons is probably the insufficiently large area of the grouted rock (an area up to the distance of 4m from the tunnel tube lining was injected). It follows from the model that subsidence of the overall injected area occurs, thus it can be assumed that the effect would be greater with increasing of the area. Another reason of the lower effectiveness is the influence of the notable tectonic fault existing at the monitored profile. The left-hand part of the injected area rests on a zone of a lower quality rock, and plastification of this zone occurs due to unfavourable physical-mechanical parameters. As a result, also the subsidence of the injected vault is higher.

A model without the tectonic fault was developed separately. The reduction in deformations caused by the reinforcing grouting amounted to 56mm then, which suggests a significant influence of this supporting measure (nearly 30%).

masivu byly výsledky injektáže horší než v kompaktnějších oblastech. Obdobným způsobem bylo zavedeno zvýšení smykové pevnosti horninového masivu v modelu.

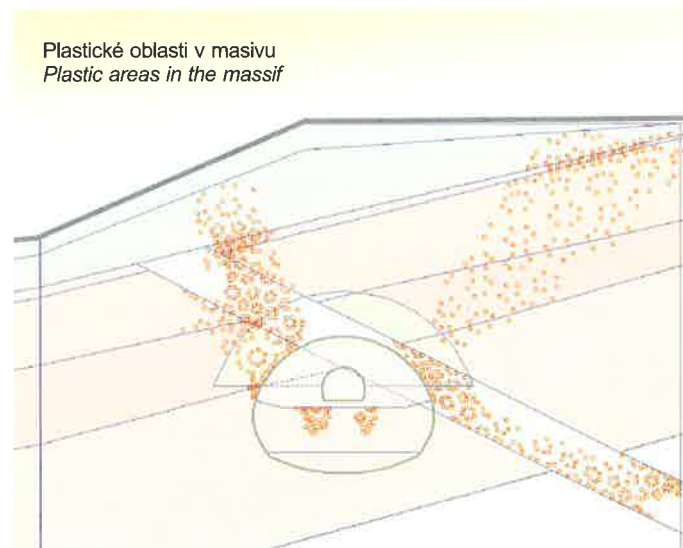
Výstupy zjištěné modelováním ukazují, že provedená injektáž způsobuje snížení deformací o 22 mm (cca 10 %). Jedním z důvodů je pravděpodobně nedostatečně velká oblast proinjektované horniny (byla proinjektována oblast do 4 m od ostění tunelové trouby). Z modelu vyplývá, že dochází k poklesu celé proinjektované oblasti, takže lze předpokládat, že se zvětšením oblasti by byl efekt vyšší. Dalším důvodem nižší účinnosti je vliv výrazné tektonické poruchy ve sledovaném profilu. Levá část proinjektované oblasti je opřena o zónu méně kvalitní horniny a vlivem špatných fyzikálně-mechanických parametrů této zóny dochází k jejímu zplastizování (obr. 7.); tím je i pokles proinjektované klenby vyšší.

Samostatně byl vytvořen model bez tektonické poruchy; redukce deformací vlivem zpevňující injektáže pak činila 56 mm, což již představuje významný vliv tohoto podpůrného opatření (téměř 30 %).

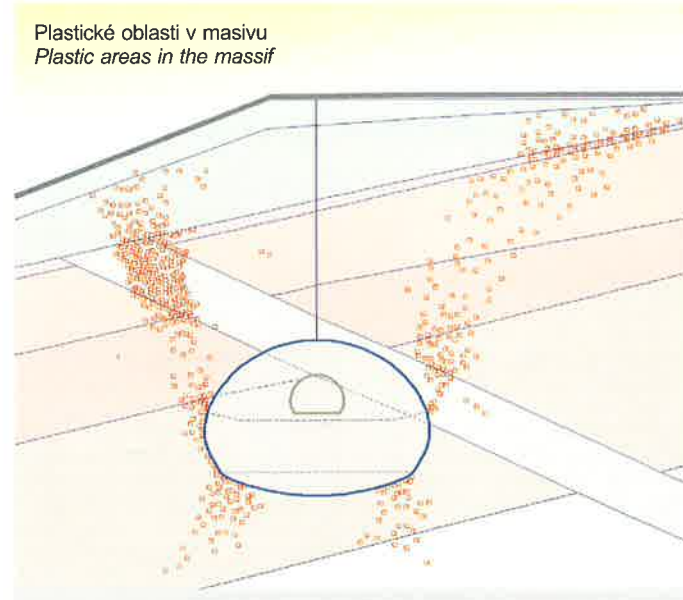
V souvislosti s modelem zpevňující injektáže je nutné zmínit, že rovinné modely nezahrnují příznivý prostorový efekt tohoto opatření, který nemusí být zanedbatelný.

5.2 MODELOVNÍ SVORNÍKOVÉ VÝSTROJE

V profilu byly použity svorníky typu SN, tvořené ocelovou tyčí průměru 32 mm z betonářské oceli 10425. Tyče byly osazovány do vrtů průměru



Obr. 7a Zplastizování horninového masivu při výlomu kaloty
Fig. 7a Plastification of the rock massif on the top heading excavation



Obr. 7b Zplastizování horninového masivu při plném výlomu
Fig. 7b Plastification of the rock mass at full face excavation

Regarding the models of the reinforcing grouting, it is necessary to note that planar (1D) models do not take into consideration the favourable spatial effect of this measure, which does not have to be negligible.

5.2 MODELLING OF THE ROCKBOLT SUPPORT

SN type of rock bolts made from deformed reinforcing bars, steel grade 10425, 32mm in diameter, were used at the profile. The bars were inserted into bore holes 48mm in diameter filled with cementitious mortar. The bolts were 4m long. The rock bolts were installed along the tunnel perimeter at 2m spacing, also their spacing in the longitudinal direction was of 2m.

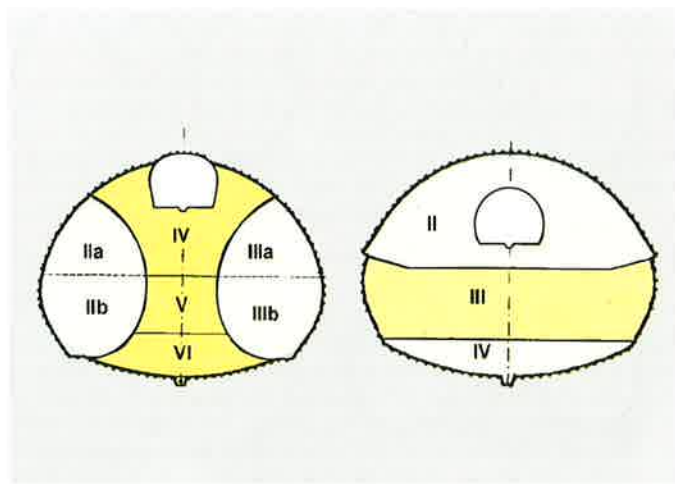
Modelling of rock bolts is a general problem of most planar numerical models. Out of the 4 types of the pursued models of anchoring (fixation along the overall length of the bolt, fixation at the root and head of the bolt, approximation by force effects, improvement of shear strength at the grouted area of the massif), and relatively suitable qualitative image of the influence of rockbolts on final deformations is provided by the model of rockbolts fixed in the massif at the root and in the lining at the head. Although, from the aspect of quantity, the originating reduction in subsidence of the tunnel overburden compared to the reality is evidently slightly overestimated.

The results of the complex modelling of the anchoring show a fundamental (and known) influence of the length of the time lag between installation of the rockbolts and installation of the primary lining. Rockbolts installed simultaneously with the lining improve the final magnitude of deformations by up to 90mm (45%). However, if a bigger time lag between installation of the lining and the bolts occurs, the maximum resulting improvement is substantially lower (18mm, i.e. 9%). It is obvious that, with respect to the performance technique, it is difficult to perform the anchoring simultaneously with application of shotcrete on the lining. However, minimisation of the installation time lag makes the effect of the anchoring substantially more significant. Although, generally, it is possible to install the rock bolts directly on the rock face before installation of the primary lining if the self-supporting stand-up time of the rock is favourably long.

5.3 THE MODEL OF THE MICROPILING SUPPORT

Pipes 70mm in diameter with wall thickness of 7mm were used for the top heading support. The length of the right-hand micropile is of 12m (the length of the root of 8m), the length of the left-hand micropile is of 9m (root length of 6m). The micropiles were anchored by means of pressure grouting by cementitious mortar. The micropiles were installed under the widened legs after the lining concrete of the top heading had set.

The influence of the time lag between installation of micropiles and application of shotcrete on the top heading lining showed in the results of the micropiling support of the top heading legs, similarly as it did at the anchoring modelling. If the support had been installed simultaneously with the lining, the resulting deformations would have improved by 65mm (33%). Delayed installation of micropiles with a certain time lag (when a part of the arch subsidence has already passed off) means a significant reduction of the resulting effect (25mm only, i.e. 12%).



Obr. 8 Schema členění čel u tunelu Mrázovka
Fig. 8 Scheme of the faces sectioning at the Mrazovka tunnel

48 mm vyplněných cementovou záplivkou. Délka svorníků byla 4 m. Svorníky byly osazovány po obvodu tunelu s roztečí 2 m, jejich vzdálenost v podélném směru byla rovněž 2 m.

Modelování svorníků je obecným problémem většiny rovinných numerických modelů. Poměrně výstižnou kvalitativní představu o vlivu svorníků na konečné deformace poskytuje ze 4 typů sledovaných modelů kotvení (upnutí po celé délce svorníku, upnutí v kořeni a hlavě svorníku, aproximace silovými účinky, zlepšení smykové pevnosti v prokotvené oblasti masivu) nejlépe model svorníků pevně upnutých v kořeni do masivu a v hlavě do ostění; po stránce kvantitativní je však vzniklá redukce sedání tunelového nadloží proti skutečnosti zřejmě poněkud nadhodnocena.

Výsledky komplexního modelování kotvení ukazují zásadní (a známý) vliv velikosti časové prodlevy mezi osazením svorníků a provedením primárního ostění. Svorníky osazené zároveň s ostěním zlepšují konečné deformace až o 90 mm (45 %). Pokud však dojde k větší prodlevě mezi osazením ostění a svorníků, je maximální výsledné zlepšení podstatně nižší (18 mm, tj. 9 %). Je zřejmé, že vzhledem k technologii provádění je obtížné provést kotvení zároveň s nastříkáním ostění, avšak minimalizace časového odstavu osazení činí účinek kotvení podstatně významnějším. Obecně je ovšem možné, v případě příznivé dlouhé doby stability nevystrojeného výrubu, provést kotvení přímo na líc výrubu ještě před provedením primárního ostění.

5.3 MODEL MIKROPILOTOVÉHO PODEPŘENÍ

K podepření kaloty pomocí mikropilot bylo použito trubek průměru 70 mm o tloušťce stěny 7 mm. Délka pravé mikropiloty je 12 m (délka kořene 8 m), délka levé mikropiloty je 9 m (délka kořene 6 m). Ukotvení mikropilot bylo provedeno pomocí tlakové injektáže cementovou záplivkou. Mikropiloty byly osazeny po zatuhnutí ostění kaloty pod rozšířené paty.

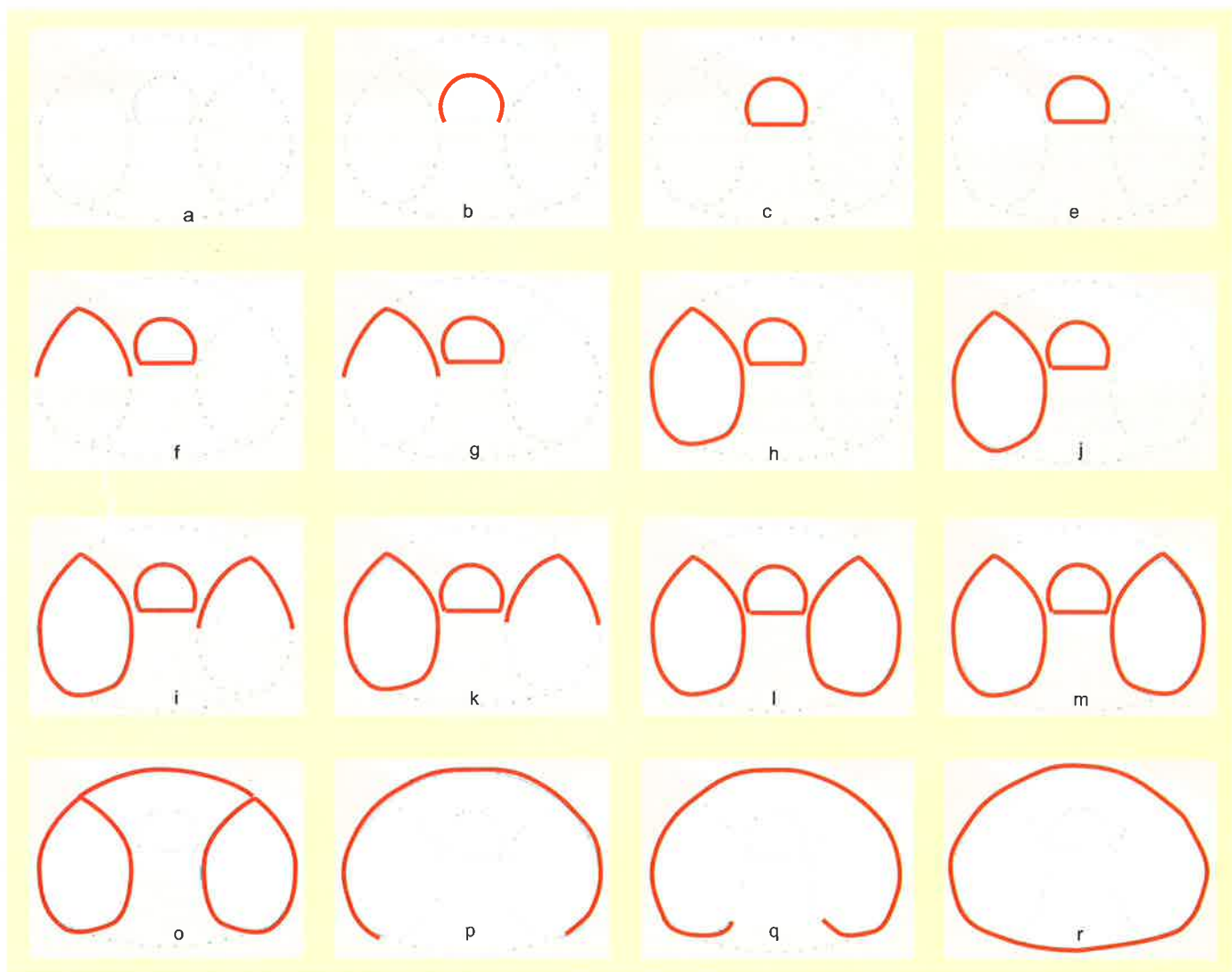
Podobně jako u modelování kotvení se při modelování mikropilotového podepření pat kaloty projevil ve výsledcích vliv odstavu osazení mikropilot od

High concentration of stresses in the concrete of the vault leg at the contact with micropiles played the main role in the realisation proper. Those stresses caused subsequent penetration of the micropiles through the lining. This means that the expected effect of the given measure did not correspond with the effect theoretically suggested by the results of numerical analyses. It is absolutely necessary for the success of the micropile support action to solve the detail of the interconnection of the micropile heads with the lining performed beforehand (which is a rather complicated matter) and to ensure their installation to be performed as promptly as possible.

5.4 MODELLING OF THE TEMPORARY INVERT OF THE TOP HEADING

The temporary closing of the top heading by invert is a measure, which can be applied to influence deformations of tunnel lining at horizontal sequencing of the tunnel face effectively. Although, this measure is not welcome with respect to the fluent and economic progress of the works.

Again, two models were developed. In the first one, theoretical installation of invert simultaneously with the top heading lining, in the other one, the top heading vault was installed first and the invert was installed at the other step. Computation results show that the time lag in the course of the works execution has a significant influence on the resulting effect again. The immediate closing of the top heading by the invert would cause reduction of resulting deformations by 45mm (22%); over against, if the performance is delayed, this measure would be of no substantial importance. It is necessary to state that these conclusions, justified greatly in assessment of the rock-bolt support, are purely theoretical for temporary invert of the top heading. For one thing, it is practically impossible to close the whole top heading lining, and for another, in the first place, this measure is usually applied under



Obr. 9 Modelování vertikálního členění čelby (štolý pobírány ve dvou lávkách)
Fig. 9 Modelling of the vertical sectioning of the face (drifts excavated in two benches)

nastříkání ostění kaloty. Pokud by bylo podepření provedeno současně s ostěním, výsledné deformace by se zlepšily o 65 mm (33 %). Osazení mikropilotů až v určitém časovém odstupu (kdy část poklesu horní klenby již proběhla) znamená značné snížení výsledného efektu (pouze 25 mm, tj. 12 %).

Při vlastní realizaci sehrála hlavní úlohu vysoká koncentrace namáhání v betonu paty klenby na styku s mikropiloty. Tato namáhání vedla k následné penetraci mikropilotů skrz ostění, takže dané opatření nepřineslo očekávaný efekt, který výsledky numerické analýzy teoreticky avizují. K úspěšnému působení mikropilotového podepření je nezbytně nutné vhodně vyřešit detail spojení hlav mikropilotů s již provedeným ostěním (což je poměrně komplikovaná záležitost) a současně zajistit jejich co nejrychlejší osazení.

5.4 MODELOVÁNÍ DOČASNÉ SPODNÍ KLENBY KALOTY

Dočasně uzavření kaloty spodní klenbou je opatřením, kterým je možno účinně ovlivňovat deformace tunelového ostění při horizontálním členění čelby tunelu, z hlediska plynulého a ekonomického postupu prací však toto opatření není vítané.

Modely byly opět vytvořeny dva. V prvním bylo modelováno teoretické osazení spodní klenby zároveň s ostěním kaloty, v druhém byla nejprve osazena horní klenba kaloty a spodní klenba byla vytvořena až v dalším kroku. Výsledky výpočtu ukazují, že velký vliv na výsledný efekt má opět časová prodleva při provádění. Okamžité uzavření kaloty spodní klenbou by přineslo redukci výsledných deformací o 45 mm (22 %), proti tomu v případě pozdní realizace by toto opatření nemělo valný význam. Nutno konstatovat, že tyto závěry (významnou měrou oprávněné při posuzování svorníkové výstroje), jsou pro dočasnou spodní klenbu kaloty "pusté" teoretické. Jednak je prakticky nemožné okamžité uzavírání celého ostění kaloty včetně spodní klenby, jednak (a to především) je toto opatření používáno ve stavu nouze právě s nezanedbatelným odstupem od čelby, nedochází-li v čase k ustalování deformací primárního ostění.

Vypočtené hodnoty vnitřních sil ukazují, že s rostoucí prodlevou při realizaci dočasné spodní klenby kaloty se jejich velikost výrazně zmenšuje (asi až o 2/3), přesto dodatečně prováděný styk v patě ostění kaloty by měl být schopen přenést všechny tři typy vnitřních sil.

5.5 MODELOVÁNÍ VERTIKÁLNÍHO ČLENĚNÍ ČELBY

Přechod z horizontálního na vertikální členění čelby umožňuje výrazné omezení velikosti deformací (obr. 8.). Pro modelování bylo použito vertikální schéma členění čelby realizované v dalším průběhu ražby tunelu Mrázovka. Využití ostění bočních štol bylo převzato z realizační dokumentace (stříkání B25 tloušťky 250 mm, žebra BRETEX 1*25 a 2*16 mm).

Modely při vertikálním způsobu členění čelby byly vytvořeny dva. Důvodem byla snaha o postihnout vlivu způsobu pobírání bočních štol na výsledné deformace. První model postihuje ražbu bočních štol ve dvou lávkách (obr. 9.), kdy spodní část štoly je ražena až po provedení horní části ostění, druhý model uvažuje ražbu celé boční štoly najednou.

Z modelových výsledků vyplývá, že pokud by byly boční štoly pobírány najednou plným profilem, konečná deformace by byla 114 mm (o 101 mm, tj. 47 %, nižší než konečná deformace při horizontálním členění). Pokud by byly štoly členěny na dvě lávky, byla by konečná deformace 134 mm (o 81 mm, tj. 38 %, nižší vzhledem k horizontálnímu členění a vyšší o 20 mm, tj. 18 %, proti pobírání štoly plným záběrem). Společně s využitím přiměřeně včas provedené svorníkové výstroje lze očekávat snížení deformací v rozsahu 50 až 70 %.

5.6 MODELOVÁNÍ VLIVU PRŮZKUMNÉ ŠTOLY

Před ražbou západní tunelové trouby byla v její ose ražena průzkumná štola. Pomocí numerické analýzy byl posouzen dopad realizace průzkumné štoly na konečné deformace tunelové roury.

Pokud by nebyla prováděna průzkumná štola, byly by výsledné posuny nižší o 20 mm (9 %). Hodnota je prakticky ekvivalentní vlivu zpevňující injektáže (22 mm), jejíž realizace byla ražbou štoly podmíněna. Z toho vyplývá, že z hlediska deformací je komplexněji pojatý vliv průzkumné štoly teoreticky nepodstatný. Otázkou tedy zůstává spíše časové a ekonomické hledisko a skutečná kvalita provedení ražby. Na jedné straně stojí technická a ekonomická náročnost provádění štoly, ovlivnění a případné porušení masivu před vlastní ražbou a z toho plynoucí nepříznivý vliv na statické chování masivu, v neposlední řadě i obtíže spojené s pobíráním ostění štoly při ražbě kaloty; na straně druhé stojí možnost provedení detailního průzkumu a testování horninového masivu, z nichž vyplynou kvalitnější podklady pro návrh, navíc je ražbou štoly podmíněna možnost případného zlepšení části nadloží tunelu (injektáž, klakáž, zmrazování) bez negativního vlivu na povrch území. Ražba štoly vypovídá do jisté míry i o podmínkách budoucí ražby velkého profilu, nutno však mít na paměti, že stabilitní a deformační projevy v horninovém masivu při ražbě velkého profilu jsou podstatně odlišné a nelze je z ražby průzkumné štoly jednoduše extrapolovat.

emergency conditions, at a considerable distance from the face, if deformations of primary lining do not stabilise.

The computed values of internal stresses show that their magnitude decreases significantly (by about 2/3 or so) with the growing time lag in realisation of the temporary invert of the top heading. Despite that fact, the subsequently performed joint at the foot of the top heading lining should be able to transmit all three types of the internal forces.

5.5 MODELLING OF THE VERTICAL SEQUENCING OF THE FACE

Transition from the horizontal to the vertical sequencing of the face makes a notable reduction of the deformations magnitude possible (see Fig. 8). The vertical pattern of the sequencing used in the further course of the Mrázovka tunnel excavation was used for this modelling. The reinforcement of the lining of sidewall drifts was taken over from the performance documentation (sprayed concrete B25 250mm thick, BRETEX 1*25 and 2*16 ribs).

Two models were developed for the vertical sequencing of the face. The reason was the intention to describe the influence of the method of the sidewall drifts excavation on resulting deformations. First model describes excavation of sidewall drifts in two benches (see Fig.9), when the bottom part of the drifts is only excavated after installation of the upper part of the lining, while the other model considers the excavation of the whole sidewall drift in one stroke.

It follows from the model results that the final deformation will amount to 114mm (lower by 101mm, i.e. 47%, than the final deformation at the horizontal sequencing) if the full-profile excavation of the sidewall drifts is applied. If the drifts are divided into two benches, the final deformation will amount to 134mm (lower by 81mm, i.e. 38%, than the deformation at the horizontal sequencing, and higher by 20mm, i.e. 18%, compared to the full-face excavation of the drift). In combination with the utilisation of reasonably timely installed rockbolt support, it is possible to expect reduction of the deformations within the range between 50 and 70%.

5.6 MODELLING OF THE INFLUENCE OF THE EXPLORATORY GALLERY

The exploratory gallery was driven on the centre line of the western tunnel tube before its excavation. The impact of the exploratory gallery realisation on the final deformations of the tunnel tube was assessed by means of a numerical analysis.

If the exploratory gallery had not been driven, the resulting deformations would have been lower by 20mm (9%). This value is practically equivalent to the influence of the reinforcing grouting (22mm), whose application was conditioned by excavation of the gallery. This means that, in terms of deformations, the influence of the exploratory gallery, considered in a more complex manner, is theoretically irrelevant. The time-related and economic points of view and the actual quality of execution of the excavation remain as more important issues. On the one hand, there are technical and economic demands connected with the gallery driving, the impact and possibly disturbance to the rock massif before the driving proper and from that disturbance following adverse influence on the static behaviour of the massif, and, last but not least, the difficulties connected with the excavation/demolition of the gallery lining in the course of the top heading excavation; on the other, there is the possibility to carry out a detailed investigation and testing of the rock massif, which will provide better quality source data for the design. In addition, the possibility of a future improvement of a part of the tunnel overburden (grouting, claquage grouting, freezing) without any negative impact on the territory surface is conditioned by the adit excavation.

To a certain extent, the gallery driving predicates on the conditions of the future large profile excavation. Although, it must be kept in mind that the instability and deformational manifestations in a rock mass at a large profile excavation are substantially different and can not be simply extrapolated from the excavation of an exploratory gallery.

6. CONCLUSION

The objective of this article was to determine the influence of various technological supporting measures on final vertical deformations of a tunnel overburden. The analysis was carried out by means of modelling using the Finite Element Method. The design and monitored parameters of the Mrázovka tunnel at the profile at km 5.160, which is found quite close to the north portal of the works, were used as source data for the analysis. The basic model was developed on the basis of convergence calculations gathering a mathematical model and results of the monitoring (extensometric

6. ZÁVĚR

Cílem práce bylo zjistit vliv různých technologických podpůrných opatření na konečné svislé deformace tunelového nadloží. Rozbor byl proveden pomocí modelování metodou konečných prvků, jako podklad pro analýzu byly použity návrhové a monitorované parametry tunelu Mrázovka v profilu km 5,160, který se nachází poměrně blízko severního portálu díla. Na základě sblíživacích výpočtů mezi matematickým modelem a výsledky monitoringu (extenzometrická měření v daném profilu) byl vytvořen základní model. Ostatní modely byly vytvořeny následně zahrnutím podpůrných opatření do základního modelu při zachování původní geometrie a materiálových charakteristik; porovnávací hodnoty absolutní i relativní jsou vztaheny k upravenému modelu, v němž je k hodnotám extenzometrických měření připočten vliv ražby průzkumné štoly (tab. 2).

measurements at the given profile). The other models were developed subsequently by means of integration of supporting measures into the basic model, with the original geometry and material characteristics maintained. Comparative values, both absolute and relative, are related to the modified model, where the influence of the exploratory gallery is added to the values of extensometric measurements (see Tab. 2).

It is obvious from the survey shown in the table that the relative effects of individual measures to prevent subsidence of the tunnel roof and the surface above the tunnel do not differ too much (maximum difference of 6%). The model results can be related even to the values of deformations of the tunnel without the impact of the exploratory gallery, which may be, in other cases, more realistic. Then, the absolute and relative values of the deformations being compared slightly change. Although, the basic relations remain (Barták, Chmelař, Hilar, 2001).

Tab. 2 Vliv podpůrných opatření na výsledné deformace
Table 2 Influence of supporting measures on resulting deformations

Název modelu Model title	Povrch Surface mm	Strop tunelu Tunnel roof mm	Redukce na povrchu Reduction at the surface mm	Redukce na stropu tunelu Reduction at the tunnel roof mm	Redukce na povrchu Reduction at the surface %	Redukce na stropu tunelu Reduction at the tunnel roof %	Poznámky Notes
Upravený model Modified model	171	215	0	0	0,0	0,0	Horizontální členění se štolou Horizontal sequencing with the gallery
Zpevňující injektáž Reinf. grouting	159	193	-12	-22	-7,0	-10,2	Oblast 4m od tunelu, E +64%, c +49% Area 4m from tunnel, E +64%, c +49%
Kotvení 1 Anchoring 1	97	125	-74	-90	-43,3	-41,9	Účinek nadhodnocen Effect overestimated
Kotvení 2 Anchoring 2	154	197	-17	-18	-9,9	-8,4	Časový odstup Time lag
Mikropiloty 1 Micropiles 1	123	150	-48	-65	-28,1	-30,2	Mikropilotové podepření pat kaloty Micropiling support of the top heading footing
Mikropiloty 1 Micropiles 2	152	190	-19	-25	-11,1	-11,6	Časový odstup Time lag
Spodní klenba 1 Invert 1	133	170	-38	-45	-22,2	-20,9	Dočasná spodní klenba kaloty Temporary invert of the top heading
Spodní klenba 2 Invert 2	171	215	0	0	0,0	0,0	Časový odstup Time lag
Vertikální členění 1 Vertical sectioning 1	79	114	-92	-101	-53,8	-47,0	Boční štola pobírána najednou Sidewall drift excavated in full face
Vertikální členění 2 Vertical sectioning 2	104	134	-67	-81	-39,2	-37,7	Boční štola členěna na dvě lávky Sidewall drift divided into two benches
Bez průz. štoly Without explor. gall.	149	195	-22	-20	-12,9	-9,3	Ražba tunelu bez průzkumné štoly Tunnel driven without explor. gallery

Z tabelárního přehledu je patrné, že relativní vliv jednotlivých opatření proti sedání stropu nad tunelu a povrchu terénu nad tunelem se příliš neliší (maximální rozdíl 6 %). Modelové výsledky je možné vztáhnout i k hodnotám deformací tunelu bez vlivu průzkumné štoly, což může být v jiných případech výstižnější. Absolutní i relativní hodnoty srovnávaných deformací se pak poněkud změni, zásadní relace však zůstávají zachovány (Barták, Chmelař, Hilar, 2001).

Jednoznačně nejúčinnějším opatřením se jak teoreticky, tak v jiných profilech především prakticky, ukázal přechod z horizontálního na vertikální členění čelby tunelu (Salač, 1999). Modelové deformace se tímto opatřením snížily téměř o polovinu, a to bez vlivu dalších podpůrných opatření. V jiných částech ražby, kde bylo ve srovnatelných horninových podmínkách vertikální členění čelby realizováno společně s kotvením, klesly skutečné deformace na povrchu území ve všech případech pod limitní hodnotu 60 mm. Nezanedbatelné jsou i podstatně lepší stabilitní podmínky v dílčích výrubech menších příčných profilů.

Nutno konstatovat, že použitý typ a umístění průzkumné štoly pro kombinaci s vertikálním členěním čelby není obecně příliš vhodný.

Pozn.: Numerická analýza podzemních konstrukcí probíhá v rámci výzkumného záměru Stavební fakulty ČVUT CEZ: J04/98:210000003 – Rozvoj algoritmů počítačové mechaniky a jejich aplikace v inženýrství.

Definitely most effective measure, both theoretically and, at other profiles, also practically, proved to be the transition from the horizontal to the vertical sectioning of the tunnel face (Salač, 1999). The model deformations were reduced thanks to this measure nearly by one half, even without the influence of other supporting measures. In other parts of the drive, where the vertical sequencing of the tunnel face was applied together with anchoring, the real deformations at the surface of the area dropped under the limiting value of 60mm in all cases. The substantially better stability conditions in smaller cross-section partial drives also must not be disregarded.

It must be stated that the type used and the position of the exploratory gallery are not so suitable for a combination with a vertical sequencing of the tunnel face.

REFERENCES

BARTÁK, J. - PÍCHA, J. (2000): Analysis of the influence of saving grouting and excavation sectioning on behaviour of a discontinuity massif at the Mrázovka tunnel drive. Volume of papers of the international conference Underground Construction Praha 2000, pgs. 477-484.

LITERATURA

- BARTÁK, J. - PÍCHA, J. (2000): Analýza vlivu sanačních injektáží a členění výrubu na chování diskontinuitního masivu při ražbě tunelu Mrázovka. Sborník mezinárodní konference Podzemní stavby Praha 2000, str. 477 - 484.
- BARTÁK, J. - CHMELÁŘ, R. - HILAR, M. (2001): Modelová analýza nadměrných deformací tunelu Mrázovka v oblasti severního portálu. *Zakládání staveb*, roč. XIII, č. 1/2001.
- BARTÁK, J. - HILAR, M. - PRUŠKA, J. (2000): Program Plaxis. *Geotechnika* č. 2/2000, str. 8 - 11.
- EISENSTEIN, Z. - SALAČ, M. - ŠKRÁBEK, J. - ZAPLETAL, A. (2000): Tunel Mrázovka - prognóza, realizace, skutečnost. Sborník mezinárodní konference Podzemní stavby Praha 2000, str. 477 - 484.
- HILAR, M. (2000): Numerical Analysis of the Supporting Measures with Effect on the Tunnel Deformations (MSc. Dissertation). Heriot - Watt University, Edinburgh.
- HUDEK, J. (1999): Tunely Mrázovka - měření a sledování při výstavbě ZTT - presiometrická kontrola úspěšnosti sanační injektáže - profily 003 až 009. PÚDIS Praha.
- HUDEK, J. - CHMELÁŘ, R. - VERFEL, J. (1998): Doplňující inženýrskogeologický průzkum pro automobilový tunel Mrázovka - dílčí zpráva - zhodnocení 2. pokusné zpevňující injektáže firmy Zakládání staveb, a. s., v km 4,873 - 4,887. PÚDIS Praha.
- HUDEK, J. - VOREL, J. (1999): Komplexní zhodnocení inženýrsko-geologického průzkumu pro automobilový tunel Mrázovka. PÚDIS Praha.
- CHMELÁŘ, R. - VOREL, J. (2000): Problematika posuzování horninového masivu při ražbě NRTM tunelu Mrázovka. Sborník mezinárodní konference Podzemní stavby Praha 2000, str. 420 - 426.
- KOLEČKÁŘ, M. - ZEMÁNEK, I. (2000): Monitoring tunelu Mrázovka. Sborník mezinárodní konference Podzemní stavby Praha 2000, str. 427 - 433.
- NĚMEČEK, J. - BUTOVIČ, A. - EBERMANN, T. - JOHN, V. (2000): Návrh tunelu Mrázovka. Sborník mezinárodní konference Podzemní stavby Praha 2000, str. 458 - 464.
- PRUŠKA, J. - BARTÁK, J. - MACHÁČEK, J. - HILAR, M. (2001): Numerical Modelling of Underground Structures. - ČVUT FSv, Proceedings of Workshop 2001.
- SALAČ, M. (1999): Výstavba tunelu pod Mrázovkou. *Tunel*, roč. 8, 4/1999, str. 33 - 38.
- ŠPERGER, J. - HRABÁNEK, J. (2000): Sanační a kompenzační injektáže na tunelu Mrázovka. Sborník mezinárodní konference Podzemní stavby Praha 2000, str. 434 - 441.
- BARTÁK, J. - CHMELÁŘ, R. - HILAR, M. (2001): Model analysis of excessive deformations of the Mrázovka tunnel in the area of the north portal. *Zakládání staveb*, Vol. VIII, No. 1/2001.
- BARTÁK, J. - HILAR, M. - PRUŠKA, J. (2000): *Plaxis Program*. *Geotechnika* No. 2/2000, pgs. 8-11.
- EISENSTEIN, Z. - SALAČ, M. - ŠKRÁBEK, J. - ZAPLETAL, A. (2000): *The Mrázovka tunnel - prognosis, realisation, reality*. Volume of papers of the international conference *Underground Construction Praha 2000*, pgs. 477-484.
- HILAR, M. (2000): *Numerical analysis of the Supporting Measures with Effect on the Tunnel Deformations (MSc. Dissertation)*. Heriot-Watt University, Edinburgh.
- HUDEK, J. (1999): *The Mrázovka tunnels - measurement and monitoring at construction of the WTT - pressiometric checking on the success of saving grouting - profiles 003 to 009*. PÚDIS Praha.
- HUDEK, J. - CHMELÁŘ, R. - VERFEL, J. (1998): *Additional engineering-geological investigation for the vehicular tunnel Mrázovka - partial report - evaluation 2 of trial reinforcing grouting by Zakladani staveb a.s. company at km 4.873 - 4.887*. PÚDIS Praha.
- HUDEK, J. - VOREL, J. (1999): *Complex evaluation of the engineering-geological investigation for the vehicular tunnel Mrázovka*. PÚDIS Praha.
- CHMELÁŘ, R. - VOREL, J. (2000): *The issue of rock mass assessment at the NATM excavation of the Mrázovka tunnel*. Volume of papers of the international conference *Underground Construction Praha 2000*, pgs. 420-426.
- KOLEČKÁŘ, M. - ZEMÁNEK, I. (2000): *Monitoring of the Mrázovka tunnel*. Volume of papers of the international conference *Underground Construction Praha 2000*, pgs. 427-433.
- NĚMEČEK, J. - BUTOVIČ, A. - EBERMANN, T. - JOHN, V. (2000): *Design of the Mrázovka tunnel*. Volume of papers of the international conference *Underground Construction Praha 2000*, pgs. 458-464.
- PRUŠKA, J. - BARTÁK, J. - MACHÁČEK, J. - HILAR, M. (2001): *Numerical Modelling of Underground Structures*. - ČVUT FSv, *Proceedings of Workshop 2001*.
- SALAČ, M. (1999): *Construction of the Tunnel under Mrázovka Hill*. *Tunel*, Vol. 8, No. 4/1999, pgs. 33-38.
- ŠPERGER, J. - HRABÁNEK, J. (2000): *Saving and compensation grouting on the Mrázovka tunnel*. Volume of papers of the international conference *Underground Construction Praha 2000*, pgs. 434-441.



Stavební geologie
 GEOTECHNIKA, a.s.
 Geologická 4
 152 00 Prague 5
 Czech Republic
 tel.: + 420/2/581 84 40, 581 84 90
 fax: + 420/2/581 79 95, 581 81 95
 URL: <http://www.geotechnika.cz>

The firm Stavební geologie - GEOTECHNIKA, a.s. is a consultant firm which offers complete solution of all problems developed as a result of interaction of underground structures with environment

- geotechnical consulting
- engineering geological and construction investigations
- design of underground structures
- geotechnical calculations and numerical modelling
- project management of underground structures
- laboratory and in situ testing
- monitoring and management of NATM
- engineering seismology
- geotechnical supervision and quality testing



SG - Geotechnika, a.s.
 has a quality assurance
 system certified according
 to ČSN EN ISO 9001

TRADICE A SOUČASNOST V BUDOVÁNÍ VELKOPROSTOROVÝCH PODZEMNÍCH OBJEKTŮ FIRMOU SUBTERRA, a. s.

TRADITION AND THE PRESENT IN BUILDING UP LARGE SPACE UNDERGROUND STRUCTURES BY SUBTERRA, a. s.

MICHAL GRAMBLIČKA, JIŘÍ KRAJÍČEK, SUBTERRA, a. s.

TRADICE

Provádění podzemních prostor velkých příčných profilů, ať už liniového, nebo prostorového charakteru (kaverny), patří k nejobtížnějším konstrukcím v této sféře geotechnických staveb. V druhé polovině 80. let dnes již minulého století byla u Subtery založena tradice ve schopnosti realizovat podzemní ražené objekty zmíněného typu.

Při výstavbě technicky i ekologicky velmi progresivně koncipované přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně byly vyraženy v masivu Hrubého Jeseníku (vedle celé řady dalších podzemních děl) dvě podzemní kaverny mimořádných parametrů: kaverna hydrocentrály (obr. 1) – šířka 25,5 m, délka 87,1 m a výška rovných 50 m, s objemem vytěžené rubaniny asi 93 tisíc m³ a kaverna transformátorů – šířka v úrovni klenby 17,4 m, délka 117 m, a výška v ose 16,5 až 21,7 m, s objemem rubaniny 32 000 m³. Tunelovací práce byly prováděny s využitím řady moderních technologických postupů, k nimž patřilo např. použití řízeného výlomu při trhacích pracích, široké využití vyztuženého stříkaného betonu při provizorním vystrojování výrubů, zajišťování stropu tyčovými kotvami délky 6 m o nosnosti 170 kN, zajišťování stěn tyčovými a lanovými kotvami délky od 10 do 25 m o nosnosti až 840 kN. Tyto progresivní technologie společně s cíleným využitím prováděných měření – konvergencí, seismického zatížení horninového prostředí vyvolaného trhacími pracemi a zatížení kotev – položily základní kameny k zvládnutí technologie výstavby podzemních děl Novou rakouskou tunelovací metodou u akciové společnosti Subterra.

Tyto zkušenosti pak byly úspěšně využity na řadě dalších zakázek společnosti Subterra. K nejvýznamnějším patřily:

- ražené komory křížení kolektorů v centru Prahy a Brna s velikostí příčného profilu "jen" do 75 m², v některých případech však těsně pod povrchem nebo dva metry nad tunelem metra,
- realizace podzemních objektů na stavbách železničních tunelů vysokorychlostních tratí v SRN s plochou výrubů 155 m²,
- výstavba prvního dálničního tunelu v ČR na tzv. pražské radiály v Brně (Pisárecký tunel).

SOUČASNOST

Nejnáročnější stavbou současnosti v podzemním programu společnosti je beze sporu výstavba objektů dopravních a technologických tunelů jižní části tunelu Mrázovka, důležité součásti západního sektoru městského automobilového okruhu v Praze. Rozměry největších objektů, které Subterra realizuje na svém úseku, jsou uvedeny v následujícím přehledu:

- Křížení tunelů v tzv. závalu:
 - šířka 18,36 m, výška 14,25 m, délka 50 m, plocha výrubu 220 m².
- Strojovna vzduchotechniky:
 - šířka 17,60 m, výška 14,53 m, délka 51,0 m, plocha výrubu 217 m².
- Rozplet třípruhového tunelu na dvou- a jednoruhový tunel:
 - šířka až 23,8 m, výška až 15,95 m, délka 54,0 m, max. plocha výrubu 324 m².

Realizace tunelu Mrázovka byla slavnostně zahájena položením základního kamene na severním portálu, který patří do úseku výstavby partnera ve sdružení – Metrostavu, a. s., těsně před vánočními svátky roku 1998 za účasti ministra dopravy vlády ČR a primátora hl. města Prahy. Tato účast potvrdila prioritu a význam stavby při řešení kritické dopravní situace v oblasti širšího centra města, zde především na levém břehu řeky Vltavy v oblasti prováděné revitalizace Smíchova.

Na úseku Subtery, tj. jižní straně tunelu, byla, po neschválení koncepce přístupu do masivu Pavího vrchu tunelem větve A, urychlena výstavba pod-

TRADITION

To construct underground structures of large cross profiles, let it be of a line character or spatial one (caverns), it is one of the most difficult construction works in this sphere of geotechnical construction. In the second half of the eighties, now in the past century, Subterra a.s. established a tradition of the ability to realize mined underground structures of the above mentioned type. When constructing the technically and economically very progressively designed pumped storage plant Dlouhé Stráně, there were mined in the massif of Hrubý Jeseník (besides many other underground structures) two underground caverns of extraordinary parameters: the hydro-electric power station cavern (Fig.1) - the width of 25.5 m, length of 87.1 m and height of 50.00 m, the excavated volume was about 93 000 cub.m., and the transformer station cavern - the width at the level of the vault of 17.4 m, length of 117 m, and the height in the axis of 16.5 m to 21.7 m, with the excavated volume of 32 000 cub.m. Tunneling works were carried out by many up-to-date technological methods, such as a controlled breaking at blasting operations, a large utilization of shotcrete for temporary support of the excavation, support of the roof by means of rod anchors being 6 m long and of 170 kN loading capacity, support of walls by means rod anchors and cable ones being 10 to 25 m long and of loading capacity up to 840 kN. The said progressive technologies, together with a purposeful utilization of results of measurements of convergence, seismic loading of the rock mass caused by blasting operations, and of anchors loading, formed a corner stone for Subterra joint stock company to master the New Austrian Tunneling Method. The said experiences were then successfully utilized for many further contracts realized by Subterra a.s. The most important of them were the following ones:

- mined chambers at main services ducts intersections in the Prague and Brno downtown, the cross section area of which reaches "only" up to 75 m², but in some cases also 1 m under the ground surface or two meters over the subway,
- realization of underground structures when constructing railroad tunnels for high-speed lines in the Federal Republic of Germany with the excavated cross section area of 155 m²,
- construction of the first motorway tunnel in the Czech Republic on the so called Prague radial road in Brno (the Pisárky tunnel).

PRESENT-DAY SITUATION

The most exacting present-day construction within the company's underground program is the construction of transport tunnels and technological ones for the southern part of the tunnel Mrázovka, which forms an important part of the western section of the city ring road in Prague. Dimensions of the largest structures realized by Subterra a.s. on its section of the contract are mentioned in the following survey:

- intersection of tunnel tubes in the so called "bay", width 18.36 m, height 14.25 m, length 50 m, excavated area 220 m²,
- ventilation plant room width 17.60 m, height 14.53 m, length 51 m, excavated area 217 m²,
- bifurcation chamber of the three-lane tunnel to the double-lane tunnel and single-lane tunnel width 23.80 m, height 15.95 m, length 54 m, excavated area 217 m², max. excavated area 324 m²

The realization of the tunnel Mrázovka was started in a solemn way by laying the cornerstone for the northern portal, located in the construction section built by our joint venture partner, Metrostav a.s., just before Christmas 1998, at the presence of Minister of Transport of the Czech government and of the Lord Mayor of the Capital Prague. The said participation in the ceremony certified the importance of this construction for solving the critical traffic situation in the sphere of a larger City center, especially on the left bank of the River Vltava in the area where revitalization of the Smíchov district is in progress.

In the Subterra's section, i.e. on the southern part of the tunnel, after the design of access into the massif of Paví Vrch through the tunnel of the branch A had not been approved, there was accelerated the construction of an underpass in the street Radlická and of the southwestern portal, which



Obr. 1 Kaverna podzemní hydrocentrály PVE Dlouhé Stráně
Fig. 1 The cavern of the underground hydro-electric power station PVE Dlouhé Stráně



Obr. 2 Jihozápadní portál dvoupruhového tunelu
Fig. 2 Southwestern portal of the double-lane tunnel

chodu Radlické ul. a jihozápadního portálu, zajišťujícího stěnu výšky až 27 m (obr. 2), ze kterého směřovala ražba dvoupruhového tunelu ve směru staničení ke křížení s kavernou trafostanice a tunelovou propojkou TP2.

U objektu tohoto křížení si dovolíme první zastavení, protože průnik kleneb při šířce výrubu místa odbočení v dvoupruhovém tunelu 18 m, u trafostanice 15 m a u propojky 9 m byl mimořádně náročný. Projekt IG průzkumu plánoval realizaci geologické štolý až do místa tohoto křížení. Vzhledem k pevnosti hornin, silně prokřemenělých břidlic letenských vrstev flyšového vývoje, však průzkumné práce nebyly kompletně provedeny, takže o geotechnických vlastnostech horninového prostředí v křížení existovaly pouze omezené informace.

Na základě zkušeností získaných z předcházející ražby dvoupruhového tunelu se připravila realizační dokumentace na křížení v zářívě s ohledem na předpokládané dobré stabilitní podmínky pro tunelování a zamýšlené vertikální členění bylo změněno na variantu "částečně" horizontální. Kalota výrubu byla rozdělena na dvě sekce a v každé se realizoval průnik s bočním objektem. Role stabilizačního prvku nadloží výrubů plnily opěrné horninové klíny (obr. 3), které byly ponechány ve společném prostoru průniku všech uváděných tunelů. Pod ochranou těchto podpor byly realizovány oba průvlakly na styku konstrukcí kleneb, tvořených vyztuženým stříkaným betonem. Hornina v bezprostředním okolí průníků byla hustě prokotenena hydraulicky upínanými svorníky Boltex, které byly zásadně osazovány okamžitě po provedení výlomu a základního bezpečnostního nástřiku betonu. Měření konvergenčního bodu, osazeného v nejvyšším místě zářívě, byly dokumentovány maximální vertikální deformace klenby v hodnotě 35 mm, i když napříč křížením procházela porucha šířky asi 1 m.

Zkušenosti s chováním a vlastnostmi horniny, získané výstavbou uvedeného objektu, byly využity při následující realizaci objektu podzemní strojovny vzduchotechniky. Objekt výšky 14,53 m byl rozdělen na 3 lávky, při čemž stěna jádra dosahovala max. výšky až 8 m. Zkrácením délky záběru na 1,5 m v místech, které ovlivňovala výše uváděná geologická porucha, bylo dosaženo max. horizontálních posunů konvergenčních bodů do 40 mm.

Těsně za křížením ve směru k severu však tvrdá hornina flyšového vývoje letenských vrstev skončila. Největší a nejsložitější podzemní objekt tunelu Mrázovka, rozplet třípruhového tunelu na dvoupruhový a jednopruhový, je ražen v břidlicích libeňských vrstev, které se zásadním způsobem, a to bohužel v tom horším smyslu, odlišují od břidlic letenských. Zatímco letenské břidlice ve flyšovém vývoji jsou velmi pevné, prokřemenělé, dobře odolávající navětrání a jsou jen průměrně narušené diskontinuitami, libeňské břidlice jsou jílovité, s hlubokým dosahem zvětrání, narušené množstvím poruchových pásem, s hojným výskytem tektonických chlazů.

supports a wall being up to 27 m high (Fig. 2), from which the drive of the double-lane tunnel was heading in the chainage direction towards the crossing with the cavern of the transformer station and tunnel cross passage TP2. At the construction of the said crossing, we will make the first break, because the penetration of vaults at the excavation width existing in the location of bifurcation in the double-lane tunnel being 18 m, at the transformer station 15 m and at the cross passage 9 m, was extraordinarily exacting. The design of the EG investigation planned a drive of a geological gallery leading up to the said crossing. With respect to the strength of rocks, heavily quartziferous shales of the Letna strata (the flysch evolution), the investigation was not performed completely, so an only limited information concerning geotechnical properties of rock conditions in the place of the crossing existed.

On the basis of experiences gained during the preceding driving of the double-lane tunnel, working drawings of the crossing at the bay were developed with respect to anticipated good, stable conditions for tunneling works, and the intended vertical sequencing was changed to a "partially" horizontal variant. The top heading was divided into two sections and from each of them a penetration to the side structure was realized. The function of a stability element of the overburden was fulfilled by supporting rock wedges (Fig. 3), which were left in the common space of the intersection of all mentioned tunnels. Under protection of the said supports there were realized both main beams at the contact of reinforced shotcrete vault structures (Fig. 4). The rock in the nearest vicinity of the intersections was densely anchored by means of hydraulically activated rock bolts Boltex, which were always installed immediately after the excavation and the basic safety shotcrete layer had been completed.

By measurements of the convergence bolt situated at the highest point of the bay, there were found out maximum vertical deformations of the arch in the value of 35 mm, in spite of the fact that a weakness zone being about 1 m wide led across the intersection.

Experiences with the rock character and the rock properties gained when constructing the said structure were utilized during the subsequent realization of the underground ventilation room. The excavation being 14.53 m high was divided into 3 levels, the height of the core was max. 8 m. By shortening the attack length to 1.5 m in spots influenced by the above mentioned geological defect, there were achieved maximum displacements of convergence points up to 40 mm.

Just behind the intersection, in the northern direction, the hard rock of the flysch evolution of the Letna strata ended. The largest and most complicated underground structure of the tunnel Mrázovka was represented by the bifurcation of the three-lane tunnel to a double-lane tunnel and single-lane tunnel. The bifurcation chamber is driven in the shales of the Liben strata, which in a fundamental way, but sorry to state - in the worse sense, differ from the Letna shales. While the Letna shales, in their flysch evolution, are very hard, full of flint, well resisting to weathering, and exhibit an average fracturing caused by discontinuities, the Liben shales contain much clay, the weathering is

Principiálně spočívá výstavba rozpletu v postupném zvětšování výrubu z třípruhového tunelového profilu velikosti asi 160 m² až na max. profil 324 m², a to na délce 50,2 m. Maximální šířka výrubu je 23,8 m a výška 16,5 m. Ražba probíhá v souladu se zásadami NRTM, ostění je tvořeno stříkaným betonem, vyztuženým sítěmi, ocelovými příhradovými rámy a hustě systematicky kotvené.

Dodavatel spojil výstavbu rozpletu s pilířem mezi oddělujícími se dvoupruhovým tunelem a jednopruhovou větví přístupového tunelu "A" v dl. 20,0 m do jednoho celku, chápe pilíř jako konstrukci zásadním způsobem ovlivňující stabilitu vrstev nadloží, minimálním, nebo lépe řečeno kontrolovaným rozvojem deformačních procesů.

Železobetonový a horninový pilíř byl spínán nejdříve laminátovými a následně ocelovými svorníky, v nejužším místě vyztužen ocelovým U profilem. Rozplet byl ražen vertikálním členěním se šířkou pilíře od 2,4 do 4,5 m. Levý (obr. 4, 5) i pravý opěrový tunel byl vyražen ve směru staničení, kalota (obr. 6 a 7), jádro a spodní klenba proti směru staničení. V místech tektonických poruch, asi uprostřed délky rozpletu, byly provedeny ochranné deštníky ze svorníků IBO dl. 6,0 m, které byly vrtány ve vzdálenostech 0,25 m v počtu 43 ks na jeden krok; celkově byly ochranné deštníky použity ve třech krocích. Tloušťka stříkaného betonu primárního ostění se zvětšovala od 40 do 70 cm. Tloušťka stěn na straně provizorního horninového pilíře byla 30 cm.

Poměrně nepříznivě byla v rozpletu umístěna geologická štola, i když je zřejmé, že jakékoliv umístění štoly, nesouvisející přímo s konstrukcí primárního ostění, narušuje koncepci vertikálního členění. Šikmý přechod štoly přes horninový pilíř a nutnost provedení provizorních stěn vyvolaly potřebu

deep, affected by many weakness zones with many tectonic fault striations. The bifurcation chamber construction resides, in principle, in a gradual enlarging of the excavation from the three-lane tunnel cross section of about 160 m², up to the maximum profile of 324 m², within a length of 50,2 m. The maximum excavation width is 23,8 m and the height is 16,5 m. The driving is carried out in compliance with the New Austrian Tunneling Method (NRTM), the tunnel lining consists of shotcrete reinforced with welded mesh and steel lattice girders, with a systematic dense anchoring.

The contractor joined the excavation of the bifurcation chamber and construction of the pillar located between the splitting double-lane tunnel and single-lane branch of the access tunnel "A" (at a length of 20,0 m) into one complex. It took the pillar as a structure affecting fundamentally the stability of the overburden, allowing a minimal, or better to say, controlled development of deformational processes.

The reinforced concrete pillar was joined to the rock pillar at first by fiberglass and then steel bolts, in the thinnest spot it was reinforced by means of a U-section. The bifurcation chamber was excavated using the vertical sequencing, with the pillar width ranging from 2.4 up to 4.5 m. The left hand (Fig. 5) and the right hand side wall drifts were driven in the direction of the chainage, the top heading (Fig. 6 and 7), the bench and the invert against the direction of the chainage. In spots of tectonic failures, approximately in the middle of the bifurcation chamber length, there were made protective umbrellas using IBO bolts 6.0 m long. The holes for the bolts were drilled at 0.25 m spacing, i.e. 43 pcs per one step. In total, the protective umbrellas were installed in three steps. The thickness of the shotcrete primary lining was increased from 40 cm up to 70 cm. The wall thickness at the side of the temporary rock pillar was of 30 cm.

A geological gallery was not situated in the bifurcation chamber very favorably, even if it is evident that any location of a gallery being not directly a part of the structure of the primary lining affects unfavorably the concept of



Obr. 3 Realizace opěrného klínu
Fig. 3 Realization of the supporting wedge



Obr. 5 Ražba pilíře
Fig. 5 The driving and concrete casting of the pillar



Obr. 4 Stříkání horninového pilíře
Fig. 4 Intersection of the bay structures and the transformer station.



Obr. 6 Razičí stroj v kalotě rozpletu
Fig. 6 Driving machine at the bifurcation chamber top heading

zabetonování asi 10 m délky štoly. Vzhledem k existující poloze štoly musel být také upraven tvar opěrových tunelů, což znemožňovalo ve všech profilech dosáhnout optimální statické a technologické tloušťky horninového pilíře.

Průběh ražeb je sledován komplexem geotechnických měření – konvergenčních, inklinometrických, extenzometrických a tenzometrických – prováděných uvnitř a v bezprostředním nadloží tunelu (nejbližší měřené místo v masivu je vzdáleno od výrubu asi 1 m).

Extenzometrické a inklinometrické měření podalo nejlepší informace o vertikálních a horizontálních deformacích masivu, protože nulové odečty těchto měření byly provedeny před výstavbou podzemních objektů. Měření napětí v primárním ostění a na styku s horninou umožnilo ověření předpokladů a hodnot, které byly výsledkem statického výpočtu provedeného metodou konečných prvků.

Místa křížení tunelů a rozplet byly raženy bez použití trhacích prací tunelovacími stroji ET 380 L (viz obr. 6.), opatřeným podélnou frézovací hlavou, který umožňuje vysoké výkony a velmi kvalitní provedení líce výrubu. Zaměřování díla a výztuže bylo realizováno totální stanicí Leica 1105 TCRM v 3D režimu, se současným profilováním příčných řezů skutečného výrubu a primárního ostění.

ZÁVĚR

Tunelový rozplet, jehož realizace v primárním ostění bude v době publikování tohoto článku již ukončena, je největším podzemním objektem na dopravních stavbách v Praze. Dosavadní úspěšnost složitých tunelovacích prací je podmíněna řadou faktorů, k nimž patří zejména kvalitní příprava díla, podrobné geologické sledování výrubů ve všech fázích výstavby, průběžné vyhodnocování observačních měření a v podstatné míře i ničím nenahraditelné zkušenosti z provádění velkoprofilových podzemních staveb pracovníky akciové společnosti Subterra.

(Foto: J. Altmann, M. Gramblička)

the vertical sequencing. The gallery passing across the rock pillar at an angle, and the necessity to build up temporary walls evoked the need to backfill about 10 m of the gallery length with concrete. With respect to the existing position of the gallery, there had to be adapted the shape of side wall drifts too, which made it impossible to get the optimum statically and technologically reasonable thickness of the rock pillar.

The progress of driving is monitored by means of a complex of geotechnical measurements, i.e. convergence, inclinometric, extensometric and strain measurements, carried out in and in a direct proximity of the tunnel overburden (the nearest measured point in the massif is at a distance of about 1 m from the excavation).

The extensometric and inclinometric measurements provided the best information concerning vertical and horizontal deformations of the massif, because the zero readings of the said measurements were performed before the construction of underground structures. Measurements of stress in the primary lining and at the contact with rock made it possible to verify assumptions and values which resulted from the static calculation performed by means of the method of final elements.

Places where tunnels cross, as well as the bifurcation chamber, were excavated without blasting by means of a tunneling machine ET 380 L (see Fig. 6), provided with a longitudinal cutterhead, which enables high output and a very high quality of the excavation surface. Surveying of the works and the support was performed by means of a total station Leica 1105 TCRM in the 3D regime, with simultaneous verification of the actually excavated profiles and of the primary lining.

CONCLUSION

The tunnel bifurcation, whose primary lining will be completed by the time of publishing of this article, is the largest underground structure in the field of transport-related construction in Prague. The success of complicated tunneling works, which we have experienced, was conditioned by many factors, namely, above all, a quality design and planning of the works, a detailed geological monitoring of stopes during all phases of construction, a continuous evaluation of observational measurements and, in a substantial extent, an irreplaceable experience of realization of large-profile underground structures by the staff of the joint-stock company Subterra.

(Photo: J. Altmann, M. Gramblička)



Obr. 7 Kotvení horniny nad kalotou rozpletu
Fig. 7 Rock anchoring over the bifurcation chamber top heading

ŘEŠENÍ TUNELOVÝCH ÚSEKŮ S NÍZKÝM NADLOŽÍM METODOU "ŽELVA"

SHALLOW TUNNEL SECTIONS CONSTRUCTED BY THE "TURTLE" METHOD

ING. PETR SVOBODA, ING. LIBOR MAŘÍK, ILF CONSULTING ENGINEERS, s. r. o.

1. ÚVOD

Při návrhu konstrukčního řešení tunelů je mnohdy nutné řešit případy, kdy směrové a výškové poměry navrhované trasy komunikace nerespektují požadavky na ideální umístění portálových úseků z hlediska ražby. Jedná se o situace, kdy konfigurace terénu a geologické poměry neumožňují volit polohu raženého portálu tak, aby hloubený úsek tunelu byl co nejkratší a způsob zajištění stability stavební jámy co nejjednodušší. To vede k technicky náročným řešením, která mohou výrazně ovlivnit celkové náklady na provedení díla. Jednou z možností řešení tunelových úseků s nízkým nadložím je metoda "želva", která je v německy mluvících zemích známá pod pojmem "Deckelbauweise".

Mezi nejčastěji uváděné příklady použití popísané metody patří:

- příportálové úseky ražených tunelů,
 - obecně tunely s nízkým nadložím v případě, kdy prostředky pro zajištění stability nadloží výrubu již nejsou z hlediska vynaložených finančních prostředků únosné.
- Důvodem pro použití metody "želva" je mnohdy i požadavek na rychlé obnovení původního tvaru terénu z hlediska využití území nad tunelem, zkrácení doby dočasných záborů pozemků nebo z hlediska obnovení stability území.

2. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Provádění tunelu metodou "želva" představuje kombinaci prací prováděných v otevřené stavební jámě a prací prováděných hornickým způsobem. Základním principem metody je snaha o minimalizování rozsahu zemních prací v poměru k vynaloženým investičním nákladům. Při provádění konstrukce je horninové podloží využíváno jako "skruž" pro betonáž horní klenby tunelu (krunýře želvy). Konstrukce je prováděna nejčastěji v otevřené svahované stavební jámě, zajištěné stříkaným betonem se sítí a hřebotáním. Pokud jsou geologické poměry natolik nepříznivé, že stabilitní problémy neumožňují návrh svahované stavební jámy, je použito např. pilotových podzemních stěn, tryskové injektáže a pod. Toto řešení je nutné i v případě, kdy prostorová situace na povrchu (např. současná zástavba) neumožňuje provedení svahované stavební jámy. V tomto případě má použití "želvy" příznivý vliv na dimenze a hloubku podzemních stěn i nutný rozsah kotvení. Jednotlivé fáze výstavby jsou patrné z obrázků v textu.

Nejjednodušším způsobem budování želvy je vybetonování konstrukce krunýře přímo na rostlý terén. Před betonáží klenby je terén upraven do tvaru vnitřního líce klenby "želvy", resp. pozdějšího vnějšího líce definitivního ostění. Pro konečnou úpravu tvaru terénu se používají např. dřevěné šablony, které jsou osazeny na terén v rastru asi 5 m a jejichž poloha je geodeticky kontrolována. Vyrovnání nerovností je provedeno hubeným betonem, případně vhodně upraveným vytěženým materiálem. Zemní těleso pak slouží jako bednění pro vybetonování konstrukce želvy. Na terén je položena separační PE (příp. PVC) fólie a ochranná geotextilie. Tím je po vyrazení kaloty tunelu pod ochranou klenby zajištěn hladký líc konstrukce, který je možno bez dalších úprav použít pro osazení mezilehlé izolace.

Alternativně je možno konstrukci želvy betonovat na speciálně vyrobené skruži. Jáma je vytěžena až do úrovně patek želvy a dno jámy je zpevněno tak, aby splňovalo požadavky na osazení skruže. Tím sice odpadájí problémy s dodržением přesného tvaru líce konstrukce, zvyšují se však náklady na výrobu skruže, úpravu dna, jáma je otevřena delší dobu a obvykle na celou délku úseku. To má vliv na způsob zajištění stavební jámy i další činnosti s tím spojené (dráha pro posun skruže, náklady na čerpání vody po dobu výstavby apod.)

Ojedinělou variantou bylo použít prefabrikované konstrukce na tunelu Branisko (viz obr. 4).

1. INTRODUCTION

When a structural design of tunnels is being developed, it is often necessary to solve cases when horizontal and vertical conditions of the designed alignment do not meet the requirements of an ideal location of portal sections suitable for the tunnelling operations. This happens when the terrain morphology and geological conditions do not allow to choose such a position of a mined portal, which makes a cut-and-cover section as short as possible and at the same time the open cut construction as simple as possible. This situation results in technically demanding solutions, which can affect overall cost of the works significantly. One of options suitable for tunnels mined under a shallow cover is the so called "Turtle" method. This method is known as "Deckelbauweise" in German speaking countries.

The above mentioned method is most frequently used:

- In areas close to portals of mined tunnels
- In tunnels with shallow cover, where the costs of maintaining the tunnel overburden stability are excessive.

Often, the reason of application of the "Turtle" method is also a requirement for expeditious restoration of the original shape of terrain so that the area above the tunnel can be utilized, the period of temporary land occupation is shortened, or the area stability is reinstated.

2. "TURTLE" METHOD PRINCIPLES

The "Turtle" tunneling method is a combination of cut-and-cover work and work performed by a mining way. The basic principle of this method is to minimize the scope of earthwork with respect to investment costs incurred. When the structure is being built, the rock cover is utilized as a mould/formwork for casting of a concrete "turtle shell" forming tunnel arch, (further in the text referred as arch only). Most often, the structure is built in an open sloped cut, which is stabilized by shotcrete with wire mesh and nailing. If geological conditions are so unfavorable that stability problems do not allow the sloped cut to be designed, pile diaphragm walls, jet grouting or another way of support is used. This solution is necessary even in a case when the spatial situation at the surface (e.g. existing buildings) makes excavation of the sloped construction pit impossible. In such a case, the use of the "Turtle" method affects favorably dimensions and depth of the diaphragm walls, as well as the necessary extent of anchoring. Individual phases of the construction process are obvious from pictures shown below.

The simplest way of the "Turtle" method implementation is to cast the concrete structure of the arch directly on natural ground surface. Before the concrete arch is cast, the ground surface is shaped to correspond with the shape of the arch intrados, i.e. of the extrados of the future final lining. The ground body serves as a mould for casting the concrete structure of the arch. Timber templates or similar tools are used for final shaping of the ground surface. They are set on the ground body surface at about 5 m spacing, and their position is checked by surveying. Hollows are filled with blind concrete or with properly treated excavated ground. Separation PE (or PVC) membrane and protective geotextile are laid on the ground body surface. This ensures a smooth face of the structure, which is exposed after excavation of the tunnel top heading under protection of the arch. Intermediate waterproofing layer can be applied on this surface without any additional treatment.

As an option, the arch structure can be cast on a purpose-made formwork. The pit is excavated down to the level of the vault footings, and the pit bottom is reinforced to meet requirements on the formwork installation. This option removes the problems associated with maintenance of an accurate shape of the ground body, but at the same time the costs are increased due

Po betonáži klenby je s odstupem nutným pro nárůst pevnosti betonu zahájeno zpětné zasypávání konstrukce. Ražba jádra tunelu pod ochranou přede-
m vybudované konstrukce želvy probíhá podle zásad NRTM. Způsob
zajištění výrubu opěří odpovídá geologickým podmínkám. Zpravidla jsou
nasazeny stejné mechanismy a je použito obdobného způsobu zajištění sta-
bilitu výrubu jako při další ražbě tunelu.

Konstrukce je v podélném směru budována po blocích, které je možno
v krátké době opět zasypat a uvést terén do původního stavu. Společně
s možností variabilního řešení patek želvy a budoucího opěří tunelu
(primární ostění ze stříkaného betonu, mikropiloty, sloupy tryskové injektáže
nebo podzemní stěny) umožňuje metoda optimalizovat návrh vzhledem
k zastiženým inženýrsko-geologickým poměrům a představuje tak ekono-
micky výhodné řešení. Betonáž definitivního ostění probíhá podle postupů
obvyklých v raženém tunelu.

3. PŘÍKLADY KONSTRUKČNÍCH ŘEŠENÍ

Na příkladech z projekční praxe firmy ILF Consulting Engineers jsou uvede-
ny příklady použití konstrukce na tunelech v zahraničí.

3.1 VÝCHODNÍ PORTÁL TUNELU BRANISKO (SLOVENSKO)

Prvním příkladem aplikace metody želvy na Slovensku je východní portál
dálničního tunelu Branisko. Navržené řešení je typickým příkladem kon-
strukce vybetonované přímo na rostlý terén. V rámci inženýrsko-geologic-
kého průzkumu a přípravy ražby průzkumné štoly v ose severní tunelové
roury došlo na východním portále tunelu k odtěžení asi 180 tis. m³ materiálu.
Byla vyhloubena jáma o délce 250 m a šířce 150 m. Hloubka jámy dosahova-
la až 25 m. Pata zářezu byla zajištěna podzemní stěnou. Sklony svahu
dosahovaly 20°. Konstrukce želvy byla součástí projektu zvláštních opatření
pro zvýšení stability svahu stavební jámy. Původně navrhované zajištění
svahu pomocí kotvených podzemních stěn se v průběhu výstavby ukázalo
jako neúčinné. Po extrémních deštích došlo k nasycení svahu vodou a ten se
dal do pohybu. Inklinometry osazené za již realizovanými podzemními stěna-
mi vykazovaly zvýšený nárůst deformace a tendenci ke zlomení stěn v místě
smykové plochy. Během dokončování hloubení, spojeného současně se
začátkem razících prací ve štole, došlo k posunu těchto bodů řádově v cen-
timetrech. Proto bylo třeba rychle najít řešení k obnovení stability. Stavební
jáma měla být původně dále prohloubena na úroveň počvy tunelu. To by
vedlo k dalšímu snížení stupně stability svahu. Proto byly na portále prove-
dены dvě klenbové konstrukce želvy.

U jižní tunelové roury bylo použito klasické železobetonové konstrukce
celkové délky 48 m betonované přímo na upravený rostlý terén (viz obr. 1).
Betonáž probíhala po blocích délky 5 m. Před zahájením ražby (viz obr. 3)
byla konstrukce částečně zasypána materiálem vytěženým z průzkumné
štoly (viz obr. 2).

V ose severní tunelové roury nebylo možno vzhledem k již zahájené ražbě
průzkumné štoly v profilu budoucího druhého tunelu použít metody
vybetonování želvy přímo na terén. Jako řešení byla zvolena varianta monto-
vaného trojúhelníkového oblouku ze speciálně vyrobených prefabrikátů (viz
obr. 4). Délka konstrukce byla 50 m.

Po provedení obou konstrukcí byla stavební jáma zpětně zasypána 12 m nad
vrchol klenb a tím přitížena pata nestabilního svahu. Spolu s odvodňovací-
mi vrty se navržená opatření ukázala jako účinná a svahové pohyby se
podarilo zastavit.

Konstrukce byla provedena ve složitých geologických podmínkách. Jednalo se
o terciární pelitické sedimenty (jílovce, prachovce), které tvoří tzv. "centrální
karpatský paleogen" na obou stranách pohorí Branisko. Hornina byla velmi
intenzivně tektonicky porušená s velmi jemnou laminací, všesměrnými diskonti-
nuitami a intenzivním zvrásněním. Po otevření stavební jámy obna-žené svahy
velmi rychle střípkovitě větraly na zeminu. Prostředí bylo místy značně zvod-
nělé (2,0 – 5,0 l/s), což mělo za následek, že v mocných poruchových zónách
měla hornina charakter zeminy s konzistencí za mezí tekutosti.

3.2 TUNEL EUERWANG (NĚMECKO, NBS NÜRNBERG – INGOLSTADT)

Na severním portále dvoukolejného železničního tunelu Euerwang byla
použita želva v délce 48 m. Na základě geologických podmínek byla zvolena
varianta vybetonování želvy mezi dvě pilotové stěny. Konstrukce želvy sloužila
jako rozpra a náhrada jinak staticky nutného kotvení pilotových stěn.

Při budování konstrukce byla zemina odtěžena na úroveň pro vrtání pilot.
V druhém kroku byly vyvrtány a vybetonovány piloty. Piloty měly o 900 mm
při osové vzdálenosti 1 000 mm. Celkem bylo vybudováno 96 ks pilot.
Následovalo odtěžení a vytvarování zemního tělesa na úroveň vnějšího líce
klenby definitivního ostění budoucího tunelu (viz obr. 5). Dalším krokem bylo
vyšramování vrubů do již vybudovaných pilot a položení separační fólie (viz
obr. 6). Nakonec byla na upraveném terénu vybetonována po blocích žele-
zobetonové konstrukce želvy (viz obr. 7). Jednalo se o celkem čtyři bloky
délky 12 m. Geologické poměry zájmového území byly tvořeny kvarténními
pokryvy, zastoupenými písčnými hlínami, hlinitou sítí s místy vyplněnými
vápencovou zahliněnou sítí. V nižších polohách následovaly písčité až silně
zvětralé nesoudržné pískovce. V úrovni počvy tunelu byly za-stoupeny plas-
tické jíly a jílovce s obsahem fosilií, tmavě šedé až černé barvy s konzistencí
tuhou až měkkou.

to the work on the formwork and the bottom treatment. The pit is also opened
for a longer period and for the overall length of the section. This affects the
method of supporting the construction pit and other associated operations
(the length of the formwork advance, cost of water pumping during con-
struction etc.)

The use of the precast structure shown in Fig. 4 was a unique variant.
After the concrete arch is cast, backfilling of the structure is started, with a
lag needed for development of a concrete strength. Excavation of the
ground core under the arch structure can be carried out. The support of the
side-wall areas depends on geological conditions. Usually the same equip-
ment and similar system of the excavation support is used as at the subse-
quent tunnel excavation.

In the longitudinal direction, the structure is built in blocks. The blocks can
be backfilled individually in a short time, thus the ground surface can be
restored to the preexisting contours. In addition to the possibility to find a
variety of solutions of both the arch footing and of the future tunnel's side
wall areas (shotcrete primary lining, micropiles, jet grouting columns or
diaphragm walls), this method allows a design optimization in respect to the
geological conditions encountered. Therefore, it represents a solution
advantageous in terms of economy. The process of final lining concrete
casting is identical with common process utilized in mined tunnels.

3. EXAMPLES OF APPLICATION

The presented examples of the "Turtle" method application were designed
by ILF Consulting Engineers.

3.1 EASTERN PORTAL OF THE BRANISKO TUNNEL (SLOVAKIA)

First example of the "Turtle" method application in Slovakia is the east portal
of the Branisko motorway tunnel. The designed solution is a typical example
of the arch concrete structure cast directly on natural ground surface. About
180,000 m³ of material was excavated at the east portal of the tunnel in the
framework of engineering and geological investigation and preparation for
excavation of an exploratory gallery on the centerline of the northern tunnel
tube. Open cut 250 m in length and 150 m in width was excavated. The depth
of the cut reached up to 25 m. A diaphragm wall supported the base of the
cut slope. The gradient of the cut sides reached 20°. The arch structure was
a part of special measures designed for enhancement of stabilization of the
construction pit slopes. The originally designed slope support by means of
anchored diaphragm walls showed ineffective in the course of construction.
The slope became saturated with water after extreme rains, and it started to
slide. Inclinometers installed behind the already built diaphragm walls indi-
cated an increased growth of deformations and a tendency to the walls
breaking at the location of the slip plane. Displacement of those points in the
order of centimeters occurred when the excavation was being completed
and, concurrently, excavation of the exploratory gallery started. For that rea-
son, it was necessary to find a solution how to reinstate the slope stability.
Originally, the construction pit was to be further deepened down to the tunnel
invert level. This would have caused another decrease in the slope stability.
Therefore, two vaulted arch structures were installed at the portal.

Conventional reinforced concrete structures 48 m in length, cast directly on
treated ground surface, was used for the southern tunnel tube (see Fig. 1).
Concrete casting was divided into 5m-long blocks. Before beginning of the
main tunnel excavation (see Fig. 3), the structure was partially backfilled
with the material excavated from the exploratory gallery. (see Fig. 2)

It was impossible to utilize the arch casting directly on the ground surface
along the northern tunnel tube axis with respect to the already started excava-
tion of the exploratory gallery within the profile of the other tunnel. To
solve the problem, a variant of a three-hinged arch consisting of purpose-
made precast segments was chosen (see Fig. 4).

After completion of the both structures, the open cut was backfilled up to the
level of 12 m above the vault roofs. Thus, an additional load was applied on
the base of the slope. The designed measures, in combination with drainage
wells, proved efficient, and the slope sliding was intercepted successfully.
The structure was built under very complex geological conditions. They con-
sisted of Tertiary pelitic sediments (claystones, siltstones), which form the
so-called Central Carpathian Palaeogene on both sides of the Branisko
Mountains. The rock was tectonically faulted very intensively, with a very fine
lamination, omnidirectional discontinuities and intense folding. After excava-
tion of the open cut, the process of weathering started very quickly, disinte-
grating the rock to soil. The environment was locally with significant ingress
of ground water (2.0 - 5.0 l/s). As a result, the rock gained a character of soil
with consistency at the liquid limit at the mighty fault zones.

3.2 THE EUERWANG TUNNEL (GERMANY, THE NBS NUREMBERG - INGOLSTADT)

The "Turtle" method was utilized on the north portal of the Euerwang double-
track railroad tunnel within a length of 48 m. Based on geological conditions,
a variant of the concrete arch casting between two pile walls was selected.
The arch structure served as a strutting and a substitution for the pile walls
anchoring, which would have been otherwise necessary for static reasons.
During the structure construction, the ground was excavated down to the
level needed for the pile boring. Second step consisted in casting of the



Obr. 1 Tunel Branisko – postup výstavby
 Fig. 1 The Branisko tunnel – process of construction



Obr. 2 Tunel Branisko – hutněný zásyp konstrukce
 Fig. 2 The Branisko tunnel – compacted backfill of the structure



Obr. 3 Tunel Branisko – zahájení ražby jádra
 Fig. 3 The Branisko tunnel – beginning of the bench excavation



Obr. 4 Tunel Branisko – prefabrikovaná konstrukce želvy
 Fig. 4 The Branisko tunnel – prefabricated structure of the "Turtle mail"



Obr. 5 Tunel Euerwang – profilovací šablona
 Fig. 5 The Euerwang tunnel – the profiling template



Obr. 6 Tunel Euerwang – fáze postupu výstavby
Fig. 6 The Euerwang tunnel – the construction progress phases



Obr. 8 Tunel Euerwang – zemní těleso před zahájením ražby
Fig. 8 The Euerwang tunnel – the ground body before beginning of the mining



Obr. 7 Tunel Euerwang – osazování výztuže
Fig. 7 The Euerwang tunnel – reinforcement fixing

3.3 TUNEL SCHELLENBERG (NĚMECKO, NBS NÜRNBERG – INGOLSTADT)

Želva použitá na jižním portále dvoukolejného železničního tunelu měla délku 40 m. Pro geologickou stavbu území jsou charakteristické nesoudržné materiály. Pod vrstvou hlinité kvartérní suti a hlíny se nacházejí písčité náplavy tvořené rezavými až červenohnědými písky s úlomky a valouny. Typické je střídání vrstev písků, písčitých štěrků, místy až štěrků. Podloží tvoří zvětralé vápence charakteru nesoudržného štěrku. Vzhledem k obtížnému zajištění stability opěří při ražbě jádra tunelu i vlastních patek želvy bylo navrženo zpevnění nesoudržných materiálů pomocí sloupů tryskové injektáže (viz obr. 8). V první fázi byl terén odtěžen do úrovně nad budoucí vrchol klenby. Následně bylo provedeno vrtání sloupů tryskové injektáže o \varnothing 600 mm s osovou vzdáleností 1 200 mm. Na každé straně stavební jámy byly vrtány dvě řady sloupů. První řada sloupů byla svislá a její hlavní funkcí bylo zvýšení únosnosti zeminy pod patou klenby a stability opěří tunelu. Druhá řada byla vrtána pod úhlem 45° směrem do hory a zamezovala vzniku pro klenbu nežádoucích vodorovných posunů. Po vyprofilování zemního tělesa do požadovaného tvaru a položení separační vrstvy byla vybetonována konstrukce želvy ve čtyřech blocích délky 10 m.

3.4 BŘEZENSKÝ TUNEL (ČESKÁ REPUBLIKA)

Březenský tunel je v současné době ve výstavbě a je budován ve složitých inženýrsko-geologických poměrech. Podle geologického průřezu se v dotčené lokalitě vyskytují dvě hlavní skupiny sedimentů. Kvartérní sedimenty jsou zastoupeny přelapovanými sprašovými hlínami s různými obsahy písčité složky, pod nimiž se nachází neprůběžná, málo mocná vrstva štěrkokopků. Terciální sedimenty jsou zastoupeny monotónními jílovými je-

concrete piles. The piles 900 mm in diameter were spaced at 1,000 mm centers. 96 pieces of the piles were built in total. Excavation and shaping of the ground body down to the level of the external face of the vault of the future tunnel's final lining followed (see Fig. 5). Another step was cutting of grooves in already completed piles and application of a separation membrane (see Fig. 6). Finally, the reinforced concrete structure of the arch was cast block by block on the treated ground surface (see Fig. 7). Four blocks 12 m long were built in total. Geological conditions of the area in question consisted of Quaternary covers represented by sandy loams, loamy debris locally infilled with soiled limestone debris. Sands to heavily weathered sandstones followed in lower courses. Dark gray to black colored plastic clays and claystones with some content of fossils were present at the tunnel invert level.

3.3 THE SCHELLENBERG TUNNEL (GERMANY, THE NBS NURENBERG - INGOLSTADT)

The arch at the south portal of the double-track railroad tunnel was 40 m long. Geological structure of the area is characterized by non-cohesive materials. Under a layer of loamy Quaternary debris and loams, there is sandy alluvium of rusty to red-brown sands containing fragments of rock and boulders. Alternating strata of sands, sandy gravels, locally even gravels, are typical. Consolidation of the non-cohesive materials by means of jet grouted columns (see Fig. 8) was designed with respect to the difficulties in stabilizing the side wall areas carried out in the course of the bench excavation. In the first phase, the ground was excavated down to the level above the future vault roof. Then the bores for the 600 mm -diameter jet grouted columns were drilled at 1,200 mm intervals. Two rows of the holes for columns were drilled on either side. The columns in the first row were vertical. Their main function was to improve the bearing capacity of the ground under the vault footings and stability of the side wall area. The other row was drilled at an angle of 45° to the rock mass. It prevented creation of vertical displacement, which is unwelcome for a vault. When profiling of the ground body and installation of separation membrane were completed the concrete arch structure was cast in four steps, i.e. four blocks 10 m long.

3.4 THE BŘEZNO TUNNEL (THE CZECH REPUBLIC)

The Březno tunnel is currently under construction. It is being built in complicated engineering and geological conditions. Geological investigation showed that two major groups of sediments are found in the affected location. Quaternary sediments are represented by water re-deposited loessal loams containing variable portion of sandy components, with a discontinuous layer of gravel sands of a low thickness. Clayey lake sediments of a monotonous evolution represent Tertiary sediments. These are clays of a stiff, rigid to hard consistency, which assume a character of semi-rock, i.e. claystone, deeper under the surface as a result of a long-standing consolidation.

In such case not only the proposal of the tunnelling technique is technically demanding, but also portal section construction method needs careful consideration too. This is due to relatively flat morphology of the area, which calls for long cut-and-cover sections at the portal areas. Actually, the designed method for the construction pit support and the extent of earth-moving works made the contractor attempt to find a technically and economically advantageous solution. The ILF Consulting Engineers company was invited by the contractor to develop an optional solution in addition to the

zerními sedimenty. Jedná se o jíly tuhé, pevné až tvrdé konzistence, které hlouběji pod povrchem vlivem dlouhodobé konsolidace nabývají charakteru poloskalních hornin – jílovců.

Technicky náročný je nejen návrh technologického postupu ražby, ale inávrh řešení portálových úseků. Příčinou je poměrně plochý ráz území, který vede v oblasti portálů k dlouhým úsekům budovaným v otevřené stavební jámě. Právě způsob zajištění stavební jámy a rozsah zemních prací vedl dodavatelskou firmu ke snaze najít technicky i ekonomicky výhodné řešení. Firma ILF Consulting Engineers byla dodavatelskou firmou vyzvána k vypracování alternativního řešení k existujícímu návrhu zajištění jámy kotvenými podzemními pilotovými a záporovými stěnami hloubky až 19 m. Kotvení stěn je provedeno třílankovými pramencovými kotvami přes převážku ve dvou úrovních. Délka kotev je navržena až 18 m. V hlavách jsou stěny spojeny železobetonovým věncem. Délka stavební jámy je 150 m, hloubka dosahuje 13,5 m.

Po zkušenostech z obdobných staveb v zahraničí navrhla firma ILF Consulting Engineers řešení vybudováním konstrukce želvy přímo na vyprofilovaném zemním tělese. Stavební jáma byla navržena jako svahovaná se zajištěním svahů stříkaným betonem se sítí a hřebikováním. V patkách želvy byly navrženy mikropiloty, jejichž hlavní funkcí bylo zachycení vodorovných reakcí z klenby. Mikropiloty byly navrženy v úklonu asi 30° od svislé, což odpovídalo směru výslednice sil v patě. Ražba pod želvou byla navržena podle zásad NRTM s horizontálním členěním čelby na kalotu, jádro a dno. Po ekonomickém posouzení obou variant dodavatelskou firmou, pro kterou bylo alternativní řešení vypracováno, bylo pro realizaci jako cenově výhodnější zvoleno původní zajištění stavební jámy kotvenými podzemními stěnami. Výsledek ekonomického posouzení byl překvapením pro projektanta i dodavatele. Příčinou je poměr cen jednotlivých dílčích prací a materiálů na českém trhu.

4. ZÁVĚR

Na několika příkladech již realizovaných tunelů je ukázána metoda, která umožňuje řešit přechod mezi hloubenou a raženou částí tunelu. Mezi nesporné výhody metody patří podstatné snížení hloubky stavební jámy a s tím spojené snížení nákladů na její zajištění. V případě, že je použita v lokalitě ohrožené sesuvy (viz tunel Branisko), přispívá ke snížení rizika aktivace sesuvů vlivem provádění zemních prací velkých objemů a k zajištění celkové stability území. V případě použití v nesoudržných materiálech je metodu možno doplnit dalšími opatřeními, která vedou k bezpečnému zajištění ražby pod želvou. Jedná se zejména o podzemní stěny nebo tryskovou injektáž. Klenbový tvar umožňuje v porovnání s rovinnou stropní deskou subtilnější návrh konstrukce. Pro betonáž definitivního ostění je používán stejný bednicí vůz, jako v ražené části tunelu. Společným jmenovatelem všech uvedených opatření je snaha o ekonomický návrh konstrukčního řešení, tj. úspora investičních nákladů.

Zcela jistě nezanedbatelný je i ekologický aspekt, kdy mezi hlavní přednosti metody patří minimalizace zemních prací prováděných z povrchu a rychlé obnovení původního stavu terénu.

Na příkladu alternativního řešení portálu březenského tunelu je poukázáno na skutečnost, že návrh technického řešení nelze vždy posuzovat na základě zkušeností z obdobných staveb v zahraničí, ale je třeba brát v úvahu i cenová specifika země, ve které je konstrukce realizována.

existing design of the open cut stabilization by means of anchored pile walls and soldier beam and lagging walls, reaching up to a depth of 19m. Three-strand cable anchors passing through walers on two levels anchor the walls. The designed length of anchors is 18 m. The walls are interconnected at the top by reinforced concrete capping. The construction pit is 150m long, and its depth reaches up to 13.5 m.

Being experienced in similar projects abroad, ILF Consulting Engineers proposed the "Turtle" method with the arch cast directly on the profiled ground body. Sloped construction pit was designed, with the slopes supported by sprayed concrete, welded wire mesh and nailing. Micropiles were designed at the "turtle" arch footings. The main function of the micropiles was to bear the horizontal reaction of the arch. The micropiles were designed at an inclination angle of about 30° to vertical, which corresponded to the direction of the resultant of forces at the footings. The NATM was proposed for excavation under the arch with horizontal division of the face into top heading, bench and invert. After an economic assessment of the two options by the contractor, who had ordered the optional design, the original solution was chosen, consisting of pit support by means of anchored diaphragm walls, as economically more efficient. The result of the economical assessment was a surprise for both the consulting engineer and contractor. The reason is the proportion between the prices of individual partial operations and materials on the Czech market.

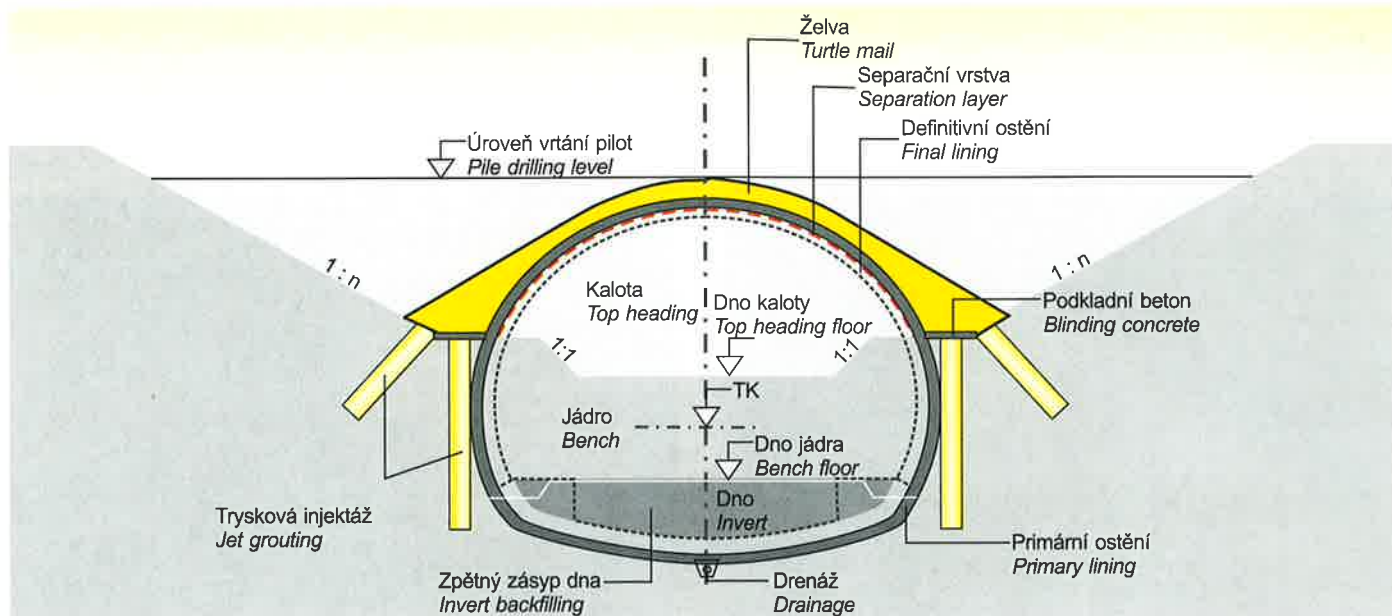
4. CONCLUSION

A method allowing a transition between cut-and-cover and mined sections of a tunnel is presented on several examples of already built tunnels. Among indisputable advantages of this method there is a substantial reduction of the construction pit depth and associated reduction of its support cost. If it is utilized in a locality prone to landslides (see the Branisko tunnel), it contributes to mitigation of the risk of landslides activation caused by large-scale excavation. If it is used in non-cohesive materials, the method can be supplemented by additional measures (mainly diaphragm walls or jet grouting) which lead to a safe excavation under the arch. The vaulted shape allows, compared to a flat deck, a more subtle design of the structure. For the final concrete lining casting, the same travelling form is used as in the mined tunnel section. A common denominator of all mentioned measures is an effort to achieve an economic design of the structure, i.e. savings in capital cost.

The fact that a proposal cannot be always assessed only on a basis of experience of similar projects abroad, has been documented using the alternative solution of the Březno tunnel as an example. Sometimes it is necessary to consider specific prices in a particular country where the structure is to be built.

Definitely, the environmental aspect cannot be disregarded since one of the method's principal advantages is minimization of earthmoving operations carried out from the ground surface and quick restoration of the ground surface to the preexisting condition.

The method can be used in the construction of traffic bypasses and circuits in city agglomerations, where the reduction of noise and dust emissions as well as other negative effects connected with the tunnel construction in an open construction pit play an important role.



Obr. 9 Tunel Schellenberg - příčný řez

Fig. 9 The Schellenberg tunnel - cross section



Obr. 10 Tunel Schellenberg – zahájení profilování zemního tělesa
Fig. 10 The Schellenberg tunnel – beginning of the ground body profiling



Obr. 11 Tunel Schellenberg – rozhraní želva – ražený tunel
Fig. 11 The Schellenberg tunnel – the arch and mined tunnel contact area

VĚTRÁNÍ TUNELŮ METRA A SILNIČNÍCH TUNELŮ

VENTILATION OF METRO AND ROAD TUNNELS

ING. MIROSLAV NOVÁK, METROPROJEKT Praha, a. s.

Každá podzemní stavba musí být alespoň po určitou část své životnosti větrána. Je jen minimum případů, kdy postačuje výměna vzduchu přirozeným způsobem. Většinu je nutno větrat uměle. Prvním obdobím je období výstavby. Návrh a provoz tohoto větrání je upraven a řízen přesnými předpisy a normami a tvoří samostatnou část dokumentace, podléhající kontrole Českého báňského úřadu. Dalším obdobím je pak období provozu. Systém, způsob a intenzita větrání jsou tak jako v předcházejícím případě, také upravovány předpisy, především hygienickými, bezpečnostními a požárními, avšak případ od případu se výrazně liší podle velikosti, účelu a způsobu provozování díla, jakož i v závislosti na době vzniku díla, technických a technologických možnostech na společenském klimatu. Vlivem vývoje těchto posledních faktorů dochází zejména u velkých a dlouhodobě provozovaných staveb také k přehodnocování potřebné technické úrovně a systémů jako takových, následkem čehož se systémy a jejich technické vybavení rekonstruují a inovují. Navrhování provozního větrání podzemních staveb je tudíž velmi rozsáhlým oborem, v němž vypracování vlastního technického řešení je jen posledním krokem složité analýzy vstupních dat, posouzení a selekce požadovaných parametrů, respektování konkrétních místních podmínek, aplikace příslušných norem a předpisů a v neposlední řadě i nejnovějších poznatků z provozu – a bohužel i havárií – těchto objektů, nejrůznějšího druhu, určení a provozních podmínek. Stručný popis aplikace těchto faktorů na konkrétní dílo je předmětem následujících řádků. Byly vybrány dva charakteristické typy – podzemní dráha a silniční tunel. První představuje stavbu, v níž provádění úkolem ventilace je odvádět přebytečné teplo, u druhého je pak rozhodující odvod škodlivých plynných a pevných zplodin. Oběma je samozřejmě společně zajištěn bezpečnosti osob v případě havárie, především pak havárie spojené s požárem.

VĚTRÁNÍ TUNELŮ A STANIC METRA

Vlaky metra (pět vozů) bývají během dne obsazeny zpravidla 500 - 700 cestujícími, ve špičce však tento počet může překročit i 900 osob. Přívod čerstvého vzduchu o optimální teplotě do podzemních prostor metra je tudíž jednou z podmínek nejen dosažení určitého komfortu přepravy, ale v některých situacích přímo podmínkou přežití. Větrání podzemních prostor metra je rozděleno na dva systémy:

- Hlavní větrání tunelů a nástupišť metra;
- Staniční vzduchotechnika.

HLAVNÍ VĚTRÁNÍ

Hlavní větrání tunelů a nástupišť metra zajišťuje provětrávání a odvod tepelné zátěže od provozu vlaků metra, technologického zařízení a cestujících z podzemních prostor. Množství větracího vzduchu je navrhováno na základě tepelné-vlhkostního výpočtu zpracovaného na počítači. Výpočet zahrnuje akumulaci tepla do ostění tunelů a okolní zeminy. Výsledkem je množství větracího vzduchu v daném úseku, které zajistí udržení minimální a maximální teploty vzduchu (5 °C/30 °C) na nástupišťích stanic metra. V současné době se zavádějí do provozu nové vlakové soupravy, které mají moderní elektrovozby s možností úspory elektrické energie pomocí rekuperace. Poklesne tepelná zátěž od provozu nových vlaků, a tím se i sníží nároky na větrací zařízení. Systémy hlavního větrání se dělí na větrání pomocí staničních větracích šachet a u delších traťových úseků se staničními a traťovými větracími šachtami. Ve strojovněch vzduchotechniky jsou osazeny axiální přetlakové ventilátory APE 2240 (trasa I.C), APE 1800, APE 1400 (trasa A, B, II.C, III.C). Na nových úsecích metra (IV.B, V.B) jsou osazeny nové typy APC 1800, APC 1400. Ventilátory jsou vybaveny oběžným kolem s nastavitelným úhlem lopatek pro měnění výkonu ventilátoru a možnost reverzace směru proudění vzduchu. Hluk od provozu hlavního větrání je tlumen pomocí buňkových absorpčních tlumičů hluku. Na nástupišťích metra je od provozu ventilátorů hlavního větrání max. přípustná hladina hluku 50 dB(A). Na povrchu 10 m od vyústění větracích žaluzií je dodržena max. přípustná hladina hluku 40 dB(A) vzhledem k provozu větrání i v nočních hodinách. Ventilátory hlavního větrání jsou ovládány v závislosti na teplotě vzduchu na nástupišťích stanic metra pomocí centrálního řídicího systému metra.

V případě nehody, nebo dokonce požáru v metru dochází k ohrožení značného počtu osob. Pro záchranu cestujících je rozhodující zajištění nezakouřené únikové cesty vhodným nastavením větracího systému. V opačném případě může větrací zařízení celou situaci zhoršit. Podle zjištěného místa požáru jsou ventilátory hlavního větrání nastaveny a spuštěny tak, aby byl zajištěn přívod čerstvého nezakouřeného vzduchu proti směru předpokládaného úniku cestujících z prostor metra na povrch.

Na obrázku č. 1. je znázorněno provozní schéma hlavního větrání na trase IV.B (stanice Vysočanská – Černý most). Zde je použit systém větrání pomocí staničních větracích šachet a v úseku stanice Hloubětín – Rajska zahrada je navržena traťová větrací šachta. Na obr. č. 2 jsou ventilátory hlavního větrání APE 1800 – 2 ks na trase B, – šachta na náměstí 14. října.

Every underground structure must be ventilated, at least for a certain period of its lifetime. Only a minimum of cases exist when natural air change is sufficient. Most of underground structures must be ventilated artificially. First period when ventilation is needed is the time of construction. Design and operation of this ventilation are described in and controlled by exact regulations and standards, and form a separate part of the documentation, which is subjected to a control by the Czech Mining Authority. The other period is the time when the structure is in operation. The system, manner and intensity of the ventilation are also, in the same way as in the above case, controlled by regulations, in the first place the hygienic, safety and fire protection ones. Although, they differ individually significantly depending on the size, purpose and manner of operation of the works, and in dependence on the time of the works origin, technical and technological possibilities, and on political climate. Development of the latter factors causes, namely at large constructions and constructions under a long-term operation, changes in opinions on technical levels and systems. As a result, the systems and their technological equipment are refurbished and upgraded. Therefore, designing of operational ventilation of underground structures is a very vast sphere, where elaboration of a technical design proper is just the last step of a complicated analysis of input data, evaluation and selection of parameters to be required, consideration of particular local conditions, application of relevant standards and regulations, and, last but not least, the newest knowledge gained from operation and, regrettably, breakdowns of those structures.

A brief description of application of those parameters on a particular construction is the subject of the following lines. Two characteristic types of structures were chosen, an underground railway and a road tunnel. The first one represents a structure where the primary task of the ventilation is to carry excessive heat away. For the latter structure, evacuation of harmful gas and particulate emissions is the crucial concern. A common task is to ensure safety of persons in a case of emergency, a fire emergency above all.

VENTILATION OF METRO TUNNELS AND STATIONS

Metro trains (5 carriages) are usually occupied by 500 - 700 passengers during a day, but this number can cross 900 persons in peak periods. Therefore, fresh air supply of an optimal temperature into underground premises of the metro is one of the conditions not only for a certain travelling comforts, but also, in some situations, just for survival. Ventilation of underground premises of metro is divided into two systems:

- Main ventilation of metro tunnels and platforms
- Station ventilation

MAIN VENTILATION

The main ventilation of metro tunnels and platforms supplies fresh air and evacuates the heat load developed by the operation of metro trains, technological equipment and passengers from the underground spaces. The volume of the venting air is designed on the basis of a computer-processed thermal and humidity calculation. The calculation takes into account the heat accumulated by the tunnels lining and surrounding ground. The result of the calculation is the volume of venting air within a given section, which will ensure that the minimum and maximum air temperatures are maintained (5°C / 30°C) at metro station platforms. Currently, new trains are being introduced into the service, which have modern electrical equipment, allowing savings in electricity by means of recuperation. The heat load which originates as a result of operation of the new trains will be reduced, thus the demands on ventilation facilities will be diminished. Systems of the main ventilation are divided into ventilation by means of station ventilation shafts, and ventilation of longer running tunnels by means of both station and track ventilation shafts. Ventilation plant rooms house axial overpressure fans APE 2240 (metro line IC), APE 1800, APE 1400 (lines A, B, IIC, IIIC). New metro lines (IVB, VB) are equipped with new types APC 1800, APC 1400. The fans have impellers with adjustable angle of blades for changing the fan output and a possibility to reverse the airflow direction. The noise caused by the main ventilation operation is attenuated by means of cell absorption noise suppressors. At metro stations, the maximum allowable noise level caused by the main ventilation fans is of 50dB(A). At the surface level, 10m from the mouth of ventilation louvres, a maximum noise level of 40dB(A) is maintained with respect to the operation of the ventilation continuing during night hours.

STANIČNÍ VZDUCHOTECHNIKA

Technologické a služební prostory stanic metra v úrovni nástupišť a vestibulů jsou nuceně provětrávány, případně klimatizovány. Jedná se o větrání trafostanic, rozvodn, měřičů, akumulátoroven, zabezpečovacích místností, strojoven eskalátorů, čerpacích stanic, dílen, skladů, sociálního zařízení a dalších služebních místností. U větrání prostor se vznikem škodlivin (akumulátorovny, WC) je odvod vzduchu zajištěn vždy na povrch. U ražených stanic se odvod škodlivin řeší pomocí větracích vrťů. Větrací a klimatizační zařízení jsou ovládána pomocí centrálního řídicího systému v metru.

VĚTRÁNÍ SILNIČNÍCH TUNELŮ

Intenzita silniční dopravy se neustále zvyšuje, čímž vzniká větší nebezpečí nehod a požárů v tunelech. Zdokonalováním vozového parku, zavedením řízených katalyzátorů se snižují nároky na větrání tunelů v normálním silničním provozu.

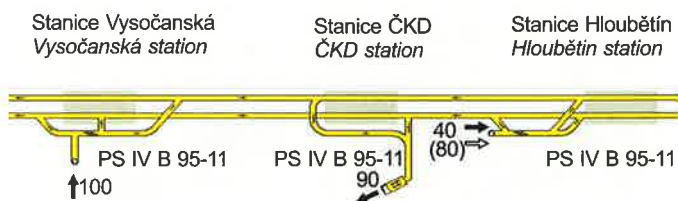
Proto se požár v mnoha případech, i když jeho pravděpodobnost je nepatrná, stává pro návrh větrání tunelu rozhodujícím faktorem. Požární větrání tunelu musí zabezpečit v první řadě únik cestujících na povrch, nebo do chráněných nezakouřených prostor (druhá tunelová trouba, úniková chodba apod.) a v druhé řadě ochránit stavební konstrukci tunelu před vážným poškozením. Nebezpečí nehody v tunelu a následně požáru vozidla je u dvousměrných tunelů podstatně větší než u jednosměrných samostatných tunelů.

Systém požárního větrání je navrhován podle délky tunelu, dopravního zatížení, stavebního řešení a dalších faktorů. V krátkých tunelech, obousměrných do 300 m, jednosměrných do 500 m, není zpravidla nutné zavádět nucené větrání v dopravním režimu. Tunely se většinou vyvětrávají působením pístového účinku vozidel, přirozené aerace a větru na portálech. Nucené větrání i u krátkých tunelů se však zpravidla musí instalovat u městských tunelů, kde často dochází k narušování plynulosti dopravy a stání v tunelu vlivem navazujících křižovatek (např. Letenský tunel). Delší dálniční, silniční a městské tunely vyžadují nucené větrání pro normální dopravní systém a zcela nutné je v případě požáru. Systémy větrání silničních tunelů lze rozdělit na:

- Podélné větrání;
- Příčné větrání;
- Polopříčné větrání.

PODÉLNÉ VĚTRÁNÍ

Podélné větrání zajišťuje pomocí proudových ventilátorů umístěných pod klenbou proudění vzduchu ve směru jízdy vozidel. U kratších obousměrných tunelů je rovněž možné použít podélné větrání s reverzními proudovými ventilátory, u kterých je možné směr proudění měnit podle momentální situace. V případě požáru v podélně větraném obousměrném tunelu je nutné v první fázi větrání odstavit a snížit rychlost podélného proudění. Horké kouřové zplodiny se po dobu kolem 6 – 8 min. drží těsně pod klenbou tunelu a nad vozovkou do výšky asi 2 m se vytvoří vrstva vzduchu, která obsahuje minimální množství škodlivých zplodin a umožňuje únik cestujícím. Po zmíněných 6 – 8 minutách, kdy se kouřové zplodiny ochladí, dojde k jejich promísení v celém průřezu tunelu. V této době je nutné spustit proudové ventilátory, aby zajistily podélné



Obr. 1 Provozní schéma hlavního větrání
Fig. 1 Operating figure of main ventilation



Obr. 2 Ventilátor hlavního větrání
Fig. 2 Fan of main ventilation

The fans of the main ventilation are controlled in dependence on the air temperature at metro platforms by means of a metro central control system.

In case of an accident or even a metro fire, a large number of persons are endangered. Correct adjustment of the ventilation system, which must ensure smoke-free escape ways, is crucial for rescue of passengers. On the contrary, the ventilation is able to aggravate the situation. Depending on the located place of the fire, the fans of the main ventilation are adjusted and activated in such a manner, which ensures supply of fresh smoke-free air in a direction contrary to the anticipated escape of passengers from the metro space to the surface.

The figure No.1 shows the operational chart of the main ventilation on the line IVB (from the Vysočanska to Cerny Most station). The ventilation system comprises station ventilation shafts and, within the section between the Hloubetin to Rajska Zahrada stations, a track ventilation shaft. The figure No.2 shows 2 APE 1800 fans of the main ventilation on the line B, installed in the shaft in the 14th October square.

STATION VENTILATION

Equipment and service premises of metro stations at the level of platforms and ticket halls are forcedly ventilated or air-conditioned. This is the case of ventilation of transformer stations, substations, converting substations, accumulator rooms, signalling rooms, escalator machine rooms, pumping stations, workshops, stores, changing rooms and other service rooms. The air from spaces where harmful emissions occur (accumulator rooms, toilets) is always evacuated to the surface level. Evacuation of harmful emissions from driven stations is through ventilation boreholes. Ventilation and air-conditioning equipment is controlled by the metro central control system.

VENTILATION OF ROAD TUNNELS

Intensity of road traffic continually increases. This causes an increase in the risk of accidents and fires in tunnels. Demands on ventilation of tunnels in conditions of a normal road traffic decrease thanks to the improvement of vehicles and introduction of controlled catalytic converters.

For that reason, in many cases, a fire becomes a deciding factor for tunnel ventilation, despite the fact that its likelihood is so small. Firstly, ventilation of a tunnel in case of a fire must ensure the escape of passengers to the surface or to a protected smoke-free space (to the other tunnel tube, escape gallery etc.) and, secondly, to protect the tunnel structure against a serious damage. The risk of an incident in a tunnel and subsequent vehicle combustion is significantly higher in two-way tunnels than the risk in separated one-way tunnels.

The fire ventilation system's design depends on the tunnel length, traffic load, structural design and other factors. In short two-way tunnels up to the length of 300m or long tunnels up to 500m, there is usually no need of introducing artificial ventilation in the traffic regime. Those tunnels are generally vented by the piston effect of vehicles and natural aeration and wind at portals. Although, artificial ventilation must usually be installed in short urban tunnels, where the fluent traffic flow is often impaired and vehicles stand in the tunnel because of crossroads ahead (e.g. the Letna tunnel). Longer highway, road and urban tunnels require artificial ventilation for the standard traffic system. It is absolutely indispensable in a case of a fire event. Systems of road tunnels ventilation can be divided as follows:

- Longitudinal ventilation
- Transverse ventilation
- Semi-transverse ventilation

LONGITUDINAL VENTILATION

Longitudinal ventilation ensures, by means of jet fans placed under the tunnel vault, that the air flows in the direction of the traffic flow. It is also possible, for shorter two-way tunnels, to use longitudinal ventilation with reversible jet fans, which can reverse the flow direction depending on the momentary situation. In a case of a fire in a longitudinally ventilated tunnel, it is necessary to suspend venting and reduce velocity of the longitudinal air-flow. Hot smoke emissions keep just under the tunnel vault for about 6-8 minutes, and a layer of air containing a minimum volume of harmful emissions hovers above the roadway surface, which fact allows passengers to escape. When the above mentioned 6-8 minutes are over, the smoke emissions cool down and they get mixed within the overall cross section of the tunnel. At this moment the jet fans have to be started to ensure longitudinal fresh air-flow in the direction opposite to the direction of escape of passengers. For one-way tunnels, where the direction of escape of passengers is obvious, the axial fans have to be started in a case of an incident followed by a fire immediately, with the fresh air flowing in the direction of travel (passengers escape against the direction of travel). The choice of appropriate direction of the airflow is questionable at two-way longitudinally vented tunnels with respect to the possibility of passengers escaping in both directions. For short tunnels, where it can be expected that the escape of passengers will not take more than the above mentioned 6-8 minutes, ventilation is activated after evacuation of persons in such a direction which will make the action of a fire brigade possible. Escape galleries leading to an unaffected space, ventilated with overpressure, must be built at longer one-way tunnels. Jet fans allow the operation of ventilation at a temperature of 250°C for 90 minutes. They ensure longitudinal ventilation with the air flowing at a velocity of 2-3m/s in one-way tunnels up to the length of 700m, while in tunnels over 700m long the velocity amounts to 4m/s. Final design of the longitudinal ventilation must be solved individually for each tunnel. The volume of ventilation air and longitudinal flow velocity in a fire event depends on many other con-

proudění čerstvého vzduchu proti směru úniku cestujících. U jednosměrných tunelů, kde je směr úniku cestujících jasný, je nutné podélné větrání spustit v případě nehody s následkem požáru okamžitě ve směru jízdy vozidel (únik proti směru jízdy). U dvoustranných podélně větráných tunelů je problematické zvolení správného směru proudění vzhledem k možnému úniku cestujících do obou směrů. U krátkých tunelů, kdy je možno předpokládat, že únik cestujících nebude trvat déle než právě oněch 6 – 8 min., se větrání spustí až po evakuaci osob ve směru, který umožní zásah hasičských záchranných sborů. U delších jednosměrných tunelů je nutné zajistit únikové štolky do nezasaženého prostoru přetlakově větrané. Proudové ventilátory umožňují větrání při teplotě 250 °C po dobu 90 min. U jednosměrných tunelů do délky 700 m zajišťují podélné větrání o rychlosti proudění 2 – 3 m/s a u tunelů o délce 700 m a více 4 m/s. Konečný návrh podélného větrání je nutné řešit individuálně pro každý tunel. Množství větracího vzduchu a podélná rychlost proudění při požáru závisí na mnoha dalších podmínkách navrhovaného tunelu. Jedná se zejména o umístění tunelu v terénu, dopravní zatížení a jeho vybavenost.

PŘÍČNÉ A POLOPŘÍČNÉ VĚTRÁNÍ

U delších tunelů s obousměrným provozem se většinou navrhuje příčné nebo polopříčné větrání. Příčné větrání je řešení pomocí přírodního kanálu čerstvého vzduchu a odvodního kanálu znečištěného vzduchu.

V případě požáru vozidla je nutné zajistit odsávání zplodin hoření v oblasti ohniska požáru a zabránit jejich šíření. Soustředěné odsávání z místa požáru se v největších tunelech řeší plným otevřením odsávacích klapek nad místem požáru. Vzdálenost mezi klapkami je navrhována asi 50 m a v případě požáru se plně otevrou 3 klapky. Ostatní odsávací klapky se uzavřou. Přívod vzduchu se odstaví. Soustředěné odsávání kouřových plynů je ve více účinné a zabrání rozšiřování kouře do dalších částí tunelu. Množství odsávaného vzduchu při požáru je 140 ÷ 160 m³/s. Rychlost proudění odsávaného vzduchu přes klapky je asi 20 m/s, požadovaná těsnost uzavřené klapky asi 0,15 až 0,2 m³/s m² při rozdílu tlaků 500 Pa. Při požáru je rozhodující čas, kdy se spustí požární větrání se soustředěným odsáváním kouřových zplodin. U příčného větrání se využije odsávací kanál, aby se eventuálně nemusel měnit směr proudění vzduchu a nebylo třeba reverzovat ventilátory, což může mít za následek zdržení 10 až 15 min.

ditions of the tunnel being designed. They are namely the location of the tunnel in the terrain, traffic loading, and the tunnel equipment.

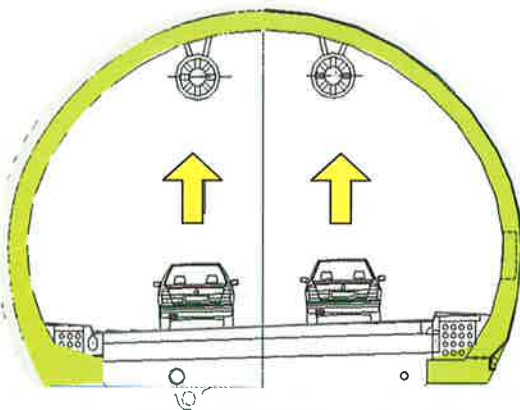
TRANSVERSE AND SEMI-TRANSVERSE VENTILATION

Generally, for longer tunnels with two-way traffic, transverse or semi-transverse ventilation is designed. The transverse ventilation is a solution using a duct supplying fresh air, and another duct evacuating polluted air.

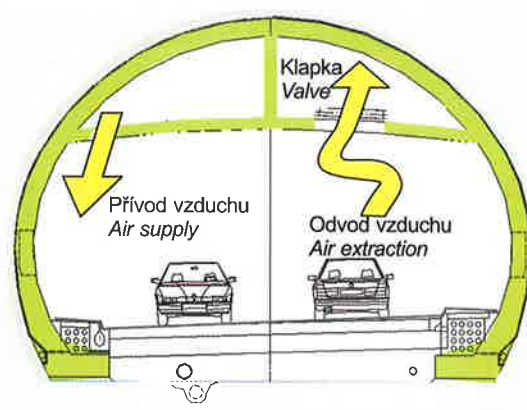
In a case of a fire event, it is necessary to ensure extraction of combustion products in the area of the centre of the fire, and to prevent its spreading. A concentrated extraction from the fire location is solved by means of full opening of exhaust louvres above the fire location. The intervals between the louvres are designed of about 50m, and, in a case of a fire, three louvres are fully opened. The other exhaust louvres close. The air supply is suspended. The concentrated extraction of waste gases is very efficient, and it will prevent smoke from propagating into other parts of the tunnel. The volume of the extracted air during a fire event is of 140 to 160m³/s. Velocity of the extracted air flow passing through the louvres is about 20m/s; the tightness of a closed louvre of 0.15 to 0.2m³/s.m² at a difference of pressures of 500Pa is required. The deciding factor at a fire event is the time when the fire ventilation with the concentrated extraction of smoke emissions is activated. An exhaust duct is used for the transverse ventilation so that the airflow direction need not be changed and the fans reversed, which operation can cause a delay of 10-15 minutes.

A semi-transverse ventilation comprises, in the tunnel, a supply ducting with louvres only. It is used for extraction of emissions, in a fire event, in a similar manner as the transverse ventilation. If it is impossible to connect the ducting to an exhaust ventilation shaft located at the mid-point of the tunnel, it is necessary to reverse the supply fans and change the airflow direction before the emissions extraction starts. Although, due to the delay induced, efficiency of the system is compromised by this action. Exhaust fans, which are generally at a bigger distance from the fire centre, must be able to perform for 90 minutes at 250°C.

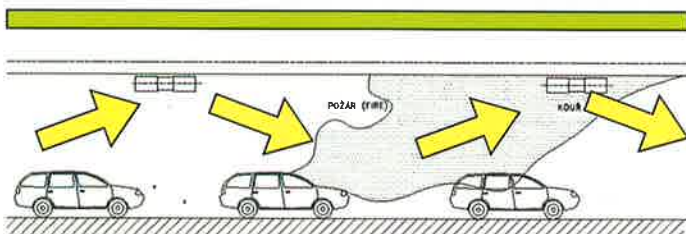
Systems of the longitudinal (semi-transverse) ventilation of highway tunnels under the traffic regime and at a fire event are obvious from Fig. 3, 4, 5, 6.



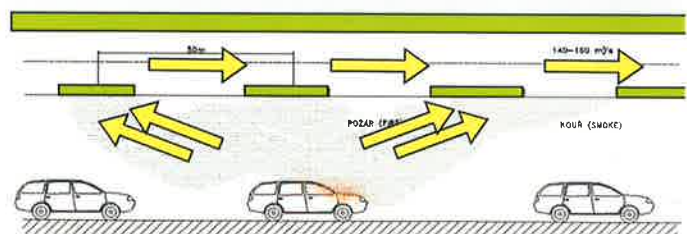
Obr. 3 Podélné větrání
Fig. 3 Longitudinal ventilation



Obr. 4 Příčné větrání
Fig. 4 Transverse ventilation



Obr. 5 Požární větrání v podélně větráném tunelu
Fig. 5 Fire ventilation at longitudinal aeration tunnel



Obr. 6 Požární větrání při příčném a polopříčném větrání
Fig. 6 Fire ventilation at transverse and semitransverse ventilation

U polopříčného větrání je v tunelu pouze přívodní kanál s klapkami. Při požáru se využívá pro odvod zplodin obdobně jako u příčného větrání. Pokud zde není možnost napojení kanálu na odsávací větrací šachtu ze středu tunelu, je nutné před zahájením odsávání zplodin reverzovat přívodní ventilátory a směr proudění tím změnit. Zdržení tím způsobené ovšem efektivnost systému zhoršuje. Odsávací ventilátory, které jsou většinou ve větší vzdálenosti od ohniska požáru, musí mít odolnost 250 °C po dobu 90 min.

Systémy podélného příčného (polopříčného) větrání dálničních tunelů při dopravním režimu a při požáru jsou patrné z obr. č. 3, 4, 5, 6.

DÁLNIČNÍ TUNELY NA D 8

Na připravovaném úseku dálnice D 8 v úseku Lovosice – Řehlovice jsou navrženy dva tunely: Prackovice, Radejčín, v úseku Trmice – státní hranice jsou navrženy rovněž dva tunely, a to Libouchec a Panenská. Tunel Prackovice je vzhledem ke své délce asi 250 m větrán pouze přirozeným větráním, ostatní tunely mají navrženo nucené podélné větrání pomocí proudových ventilátorů umístěných pod klenbou tunelu. Projektovou dokumentaci tunelů Radejčín a Libouchec zpracovává METROPROJEKT Praha, a. s.

VĚTRÁNÍ DÁLNIČNÍHO TUNELU BRANISKO – SLOVENSKÁ REPUBLIKA

Na dálničním úseku Poprad – Prešov, dálnice D1 je v současné době stavěn tunel Branisko. Délka tunelu 4,8 km, stoupání 1,2 %. V první etapě bude zprovozněna pouze jedna trouba s obousměrným provozem. Pro zajištění normálního dopravního provozu o intenzitě dopravy 12 000 ÷ 15 600 vozidel/24 hod (obousměrně) je navrženo polopříčné větrání zajišťující přívod čerstvého vzduchu v množství 120 m³/s/km tunelu. Přívod větracího vzduchu je řešen z obou portálů pomocí axiálních ventilátorů zaústěných do podstropních větracích kanálů. Zaústění do prostoru tunelu je přes speciální klapky na servopohon umístěné ve vzdálenostech po 50 m. Uprostřed úseku je navržena odsávací větrací šachta, která odvádí znečištěný vzduch z prostřední části tunelu. Strojovna vzduchotechniky je na povrchu u větrací šachty. V případě požáru v tunelu se v daném místě otevrou 3 ks odsávacích klapek naplno, ostatní se uzavřou. Přívodní ventilátory se odstaví a pomocí klapek v kanále se propojí přívodní kanál s odsávací větrací šachtou, přes kterou se zajistí odsávání 140 ÷ 160 m³/s. Výhodou tohoto řešení je rychlé zavedení požárního větrání bez nutnosti reverzace ventilátorů a změny směru proudění. Během zpracování projektové dokumentace byla a. s. METROPROJEKT navrhovaná větrací šachta uprostřed úseku některými konkurenčními firmami kritizována jako zbytečná a drahá. Bez této šachty by bylo třeba odvádět vzduch v dopravním režimu přes portály a v případě požáru by bylo nutné provést reverzaci ventilátorů a změnu směru proudění ve větracích kanálech, což vede ke zdržení nejméně 10 ÷ 15 min. Po vzniku požárů v několika tunelech s tragickými následky, kterých jsme byli v poslední době svědky, je zřejmé, že takové "šetření" by nebylo namístě a větrací šachta na Branisku se již samozřejmě realizuje.

Únik cestujících při nehodě v tunelu po dobu provozu jedné tunelové trouby (tedy obousměrně) je zajištěn přes únikovou štolu, která byla vybudována v předstihu jako průzkumná v místě budoucí druhé tunelové trouby. Propojení je realizováno pomocí propojovacích štol požárně oddělených od vlastního tunelu. Úniková štola a propojovací štolky jsou přetlakově větrány pomocí proudových ventilátorů.

Dvousměrný provoz v jedné tunelové troubě je pochopitelně z hlediska rizika dopravní nehody nevýhodný. Jedná se však o řešení dočasné, kdy potřebné míry bezpečnosti je dosaženo právě popsáním řešením s odsávací větrací šachtou umístěnou přibližně uprostřed délky tunelu. Schéma větrání tunelu Branisko je na obr. č. 7.

TUNNELS ON THE D8 HIGHWAY

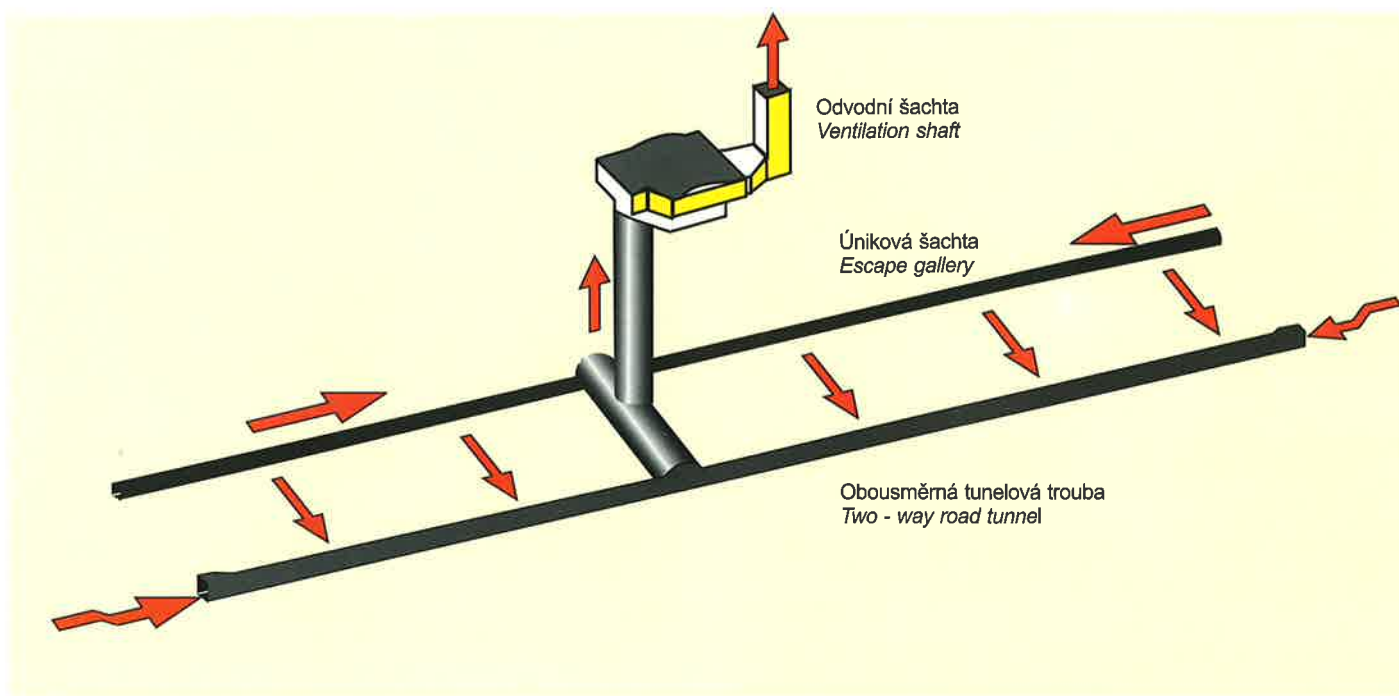
There are 2 tunnels designed on the planned section of the highway D8 between Lovosice and Řehlovice, i.e. the Prackovice and Radejčín tunnels. Another 2 tunnels are designed on the section from Trmice to the state border, namely the Libouchec and Panenska tunnels. The Prackovice tunnel is, owing to its length of about 160m, vented naturally only, while a forced longitudinal ventilation by jet fans placed under the tunnels' vaults is designed for the other tunnels. The design documentation for the Radejčín and Libouchovice tunnels is being developed by METROPROJEKT Praha a.s.

VENTILATION OF THE TUNNEL BRANISKO - THE SLOVAK REPUBLIC

The Branisko tunnel is being built on the Poprad - Presov section of the highway D1. The 4.8km-long tunnel is on 1.2% gradient. Only one tube with two-way traffic will be put into operation in the first phase. To ensure a normal traffic with intensity of 12,000 - 15,600 vehicles per 24 hours (in both directions), there is a semi-transverse ventilation supplying fresh air volume of 120m³/s/km of the tunnel designed. The supply of ventilation air is ensured from both portals by means of axial fans connected to ventilation ducts suspended under the ceiling. Outlets leading to the tunnel space are covered by specialist louvres with actuators, which are installed at intervals of 50m. An exhaust ventilation shaft, which removes polluted air from the central part of the tunnel, is designed at the mid-point of the tunnel section. The ventilation plant is at the surface, next to the ventilation shaft. In a case of a fire in the tunnel, 3 pieces of the exhaust louvres are fully opened, while the others are closed. The supply fans are stopped and, by means of flaps in the duct, the supply duct is connected with the exhaust ventilation shaft. 140 - 160m³/s can be extracted via the shaft. The advantage of this solution is a quick activation of the fire ventilation without a need of reversing fans and changing the airflow direction. The ventilation shaft designed by METROPROJEKT at the mid-point of the section was criticised by some of competitor companies in the course of the design development as unnecessary and expensive. Although, without this shaft, the air would have to be extracted via portals in a normal regime, and, in a case of a fire event, fans would have to be reversed and the airflow direction in ventilation ducts changed. This would induce a delay of 10-15 minutes at least. With respect to conflagrations in several tunnels with tragic consequences, which we have witnessed recently, it is obvious that such an economising would be inappropriate. Needless to say, the ventilation shaft on the Branisko tunnel is being built.

Escape of passengers in case of an incident in the tunnel in the time when one tunnel tube is operated (i.e. in both directions) is ensured via an escape gallery, which was built in advance as an exploratory gallery on the alignment of the future second tube. Interconnection is ensured by means of cross passages with fire stops separating them from the tunnel proper. The escape gallery and the cross passages are ventilated with overpressure by means of jet fans.

Obviously, the two-way traffic in a single tube is inconvenient in terms of the risk of a traffic accident. Although, this is a temporary solution, which achieves the required degree of safety by means of the above referred to design of ventilation with the shaft placed approximately to the mid-point of the tunnel length. The chart of the tunnel Branisko ventilation is shown in Fig. 7.



Obr. 7 Schéma větrání tunelu Branisko při požáru
Fig. 7 Fire ventilation of Branisko tunnel

ELEKTRICKÁ ENERGIE V PODZEMNÍCH LINIOVÝCH DOPRAVNÍCH STAVBÁCH S ELEKTRICKOU STEJNOSMĚRNOU (DC) TRAKCÍ

ELECTRIC POWER IN UNDERGROUND TRANSPORT-RELATED LINE STRUCTURES WITH DIRECT CURRENT (DC) ELECTRIC TRACTION

MILOSLAV ŘÍHA, METROPROJEKT Praha, a. s.

ÚVOD

V podzemních liniových dopravních stavbách s DC elektrickou trakcí má elektrická energie rozhodující význam pro splnění stanovených požadavků na jejich provoz a funkci. Slouží pro pohon trakčních vozidel, větrání, čerpání nefekálních a fekálních vod, pro pohon pohyblivých schodů, výtahů, pro ohřev teplé užitkové vody, vytápění provozních místností a vestibulů (s výjimkou případů, kdy je v blízkosti teplárna a je do některé části stavby zaveden teplovod), pro umělé osvětlení (pracovní, nouzové a únikové), pro napájení drobných spotřebičů, pro napájení sdělovacích a zabezpečovacích zařízení, systémů dálkového ovládní a řídících systémů s programovatelnými automaty. V tomto článku jsou podzemní liniové dopravní stavby označovány zkratkou PLDS.

Smyslem tohoto článku není popis využití elektrické energie pro veškerá elektrická zařízení instalovaná a provozovaná v PLDS, ale zvýraznění nejdůležitějších částí s hlediska zajištění provozu, ochrany před úrazem elektrickým proudem, ochrany před šířením požáru po kabelových vedeních a ochrany stavebních konstrukcí před korozními účinky bludných proudů.

PŘÍVODY ELEKTRICKÉ ENERGIE

Z výše uvedeného (a jistě ne zcela úplného) výčtu využívání elektrické energie také vyplývá požadavek na spolehlivost zajištění přívodů elektrické energie do liniových dopravních staveb s elektrickou trakcí. Je zcela zřejmé, že není možno použít systém napájení z distribučních transformoven 22 kV veřejné rozvodné sítě vzhledem k nebezpečí jejich možného častějšího výpadku vlivem poruch v distribučním rozvodu. V úvahu tedy přichází pouze napájení z transformoven vyššího řádu 110/22 kV, AC, energetické soustavy. (Vyhláška Ministerstva dopravy a spojů ČR č. 346/2000 Sb., kterou se mění vyhláška č. 177/95 Sb. Stavební a technický řád drah, požaduje pro elektrické stanice v metru napájení ze dvou na sobě nezávislých elektrických stanic veřejného rozvodu elektrické energie.

Napájení podzemních liniových dopravních staveb s elektrickou trakcí je tedy nutno řešit jako dodávky 1. stupně, ze dvou nezávislých zdrojů, které musí být zajištěny za všech okolností. Každý zdroj tedy musí mít k dispozici takový výkon, aby dodávky byly zajištěny. (Rozumí se s výjimkou událostí zcela mimořádných – rozpadu nadřazené rozvodné soustavy 220 kV, 400 kV a podobně.

Abyste se vyloučily možné nepříznivé vlivy na dodávku elektrické energie u každého přívodu z nezávislého zdroje (rozvodny 110/22 kV), je každý kabelový přívod vhodně řešit jako dvojitý, ze dvou sekcí rozvaděčů 22 kV v každé rozvodné 110/22 kV. Vyloučí se tím možné nepříznivé vlivy na plynulost dodávek elektrické energie při provozních manipulacích v rozvodnách 110/22 kV, vyloučí se tím možnost přerušení dodávky při poruše na jednom z obou přívodních kabelových vedení 22 kV z rozvodny 110/22 kV do přívodní elektrické stanice v podzemní liniové dopravní stavbě, a sníží se tím na polovinu ztráty na výkonu v napájecích kabelech při jejich polovičním provozním proudovém zatížení.

Situování obou dvojitých přívodů z nezávislých zdrojů (rozvodny 110/22 kV) by z hlediska "dobrých mravů řešení" bylo vhodné do asi 1/3 a 3/4 délky liniové dopravní stavby (z hledisek úbytků na napětí a ztráty na výkonu v kabelových vedeních ve vnitřním rozvodu 22kV v celé délce stavby). Je však v tomto případě vhodné upřednostnit hledisko oboustranného napájení každé podzemní elektrické stanice – distribuční transformovny, distribuční transformovny a trakční měničny (zkratky DT, MDT). Rozumí se tím to, že žádná DT, MDT nebude závislá pouze na přívodu z jednoho nezávislého zdroje. Znamená to ovšem situovat oba přívody z nezávislých zdrojů do koncových elektrických stanic liniové dopravní stavby. Při větších délkách takové stavby je samozřejmě možné (a v některých případech přímo nutné) navrhovat další přívod z nezávislého zdroje (rozvodny 110/22 kV), v závislosti na energetických a trakčních výpočtech (většinou do středu liniové stavby).

ROZVOD 22 kV V PODZEMNÍ LINIOVÉ DOPRAVNÍ STAVBĚ

Vzhledem k délkám PLDS s elektrickou DC trakcí a k výši přenášeného příkonu elektrické energie je nutno řešit v PLDS samostatný kabelový rozvod

INTRODUCTION

Electric power is of a deciding importance for meeting operational and functional requirements set for underground transport-related line structures with DC traction. It drives traction vehicles, ventilation, pumping non-sewage and sewage water, escalators or elevators, and is used for service water heating, operational rooms and concourses heating (with the exception of the cases when a distribution heating plant is nearby and a part of the structure is connected to a heat duct), artificial illumination (working, emergency and escape one), for feeding electrical appliances, feeding telecommunication and signaling systems, and remote actuation and control systems with programmable automation. This article uses an abbreviation UTLs for the underground transport-related line structures.

The intention of this article is not to describe utilization of electric power for all electrical equipment installed and operated in the UTLs. The intention is to highlight the most important parts from the aspect of the operational safety, protection against electric current caused accidents, protection against a fire spreading along cables, and protection of structures against corrosive effects of stray currents.

ELECTRIC POWER SUPPLY

The requirement on reliability of the electric power supply system for the transport-related line structures also follows from the above mentioned, certainly not fully complete, listing. It is obvious that a system of the supply from distribution transformer stations 22kV that are a part of the public distribution network can not be used because of the risk of more frequent power failures due to breakdowns in the distribution system. Then only the supply from the higher order of the power infrastructure can be taken into consideration, i.e. a transformer station 110/22kV, AC. (The Decree of the Ministry of Transport and Communications of the CR No.346/2000 Coll., which amends the Decree No.177/95 Coll., "The Construction and Technical Code of Railways", requires the supply for the power supply stations located in the metro to be provided from two mutually independent power supply stations of the public power distribution system. Therefore, power supply for underground transport-related line structures with electric traction must be solved as a 1st degree supply from two independent sources, which must be ensured under any circumstances. Each source must provide such an output, which guarantees the supply (with the exception of totally exceptional events as a breakdown of the higher order distribution system, i.e. 220kV, 400kV etc.)

To eliminate potential unfavorable effects on the power supply from each independent source (110/22kV substations), it is advisable to double each feed line, with two sections of 22kV switchboards in each of the 110/22kV substations. Thus the possible unfavorable effects on fluency of the power supply caused during operational manipulations in the 110/22kV substations are eliminated, also the possibility of disruption of the supply in an event of a breakdown on one of the two 22kV feed cables leading from the 110/22kV substation to the feeding power supply station located inside the underground transport-related line structure, and loss of power in the feed cables are reduced to a half at their operational loading reduced to one half.

It would be reasonable to place the two independent sources (110/22kV substations) to the locations at about 1/3 and 3/4 of the transport-related line structure length (with respect to the voltage drop and loss of output in the cable lines within the internal 22kV distribution along the whole length of the structure.) Although, it is advisable in such the case to prefer the aspect of feeding each of the underground power supply stations (distribution transformer station, DT, distribution transformer station and traction converting substation, CDT). It means that no DT/CDT will be dependent on feeding from one independent source only. However, it also means that both feed lines from the independent sources must be situated into the terminal transformer stations inside the transport-related underground line structure. If the length of such the structure is bigger, it is obviously possible, and in some

3 AC 22 kV, rozdělený do dvou sekcí A, B. Tyto sekce musí být stavebně po celé délce trasy navzájem odděleny, nebo uloženy odděleně do kabelových žlabů z nehořlavých hmot – stupně A, podle ČSN 73 0823. Každá z obou sekcí musí být schopna přenést celý potřebný příkon. Jedná se tedy o zcela autonomní 22 kV rozvodnou síť v PLDS.

ELEKTRICKÉ STANICE (DT, MDT)

Elektrické stanice se navrhují v oddělených částech stanic pro přepravu cestujících, na základě energetických a trakčních výpočtů. Jsou to vždy distribuční transformovny 3 AC 22/0,4 kV (DT) nebo distribuční transformovny a měničny (MDT), kde mimo distribuční transformovny je umístěna ve stejném prostoru také polovodičová trakční měnična DC 825 V (pražské metro). Z prováděných měření spotřeby elektrické energie na provozovaných tratích pražského metra vyplývá, že asi 58 % spotřeby představuje energie trakční, ostatní spotřeba asi 42 % (pohony strojů a zařízení, osvětlení, větrání, čerpání vody atd.).

Spotřebu elektrické energie pro trakci lze podle praxe odhadovat na asi 1 MW/km trati (např. pro interval vlaků 120 sec a pětivozovou vlakovou soupravu). Spotřeba je velmi závislá na stoupání trati a na typu použitých vozů.

UZEMNĚNÍ

Základem bezpečné a spolehlivé funkce všech elektrických zařízení a také zabezpečení ochrany osob před úrazem elektrickým proudem je v podzemní líniové dopravní stavbě její uzemnění.

Uzemnění jednotlivých elektrických stanic jsou v průběhu celé délky líniové dopravní stavby vzájemně propojena a tvoří jednotnou uzemňovací síť. Tato uzemňovací síť je společná pro zařízení vysokého napětí (vn), nízkého napětí (nn) a pro pevná trakční zařízení (PTZ). V případě potřeby se navrhuje uzemnění i v mezistaničních úsecích (při jejich velké délce nad 1500 m).

U železobetonových stavebních konstrukcí podzemní stavby se uzemnění zpravidla navrhuje jako strojený základový zemnič, uložený pod základovou deskou stavby, oddělený od základové desky izolací. Zemní odpor zemničů musí zaručit, že napětí uzemňovací sítě nepřekročí hodnoty dovoleného dotykového napětí. Uzemňovací síť se navrhuje výpočtem, kde rozhodující veličinou je efektivní hodnota proudu tekoucího zemničem.

V případech, kdy je ke stavbě použito zčásti litinového ostění, lze toto ostění využít pro účely uzemnění jako zemniče. S nástupem nových technologií při budování líniových podzemních dopravních staveb se však litinového ostění bude používat stále méně a omezí se na zcela specifické případy.

V praxi se potřebná hodnota zemního odporu pohybuje pod hodnotou 0,1 ohmu.

Ocelová výtuz stavebních konstrukcí se nespojuje s uzemněním, aby se zabránilo pronikání bludných proudů z elektrické DC (stejnoseměrné) trake do výtuz a nedocházelo tak k možnému ohrožení těchto konstrukcí korozními účinky bludných proudů.

Vlastní rozvod uzemnění v celé délce líniové stavby se provádí CU pásky o minimálním průřezu 120 mm² (na silnoproudé straně tunelů), FeZn pásky o minim. průřezu 120 mm² (na slaboproudé straně tunelů).

Abý nedocházelo k zavlékání bludných proudů do líniových podzemních staveb s DC trakcí a naopak k ohrožování okolních staveb a podzemních kovových úložných zařízení bludnými proudy unikajícími z DC trake provo-

cases even necessary, to design another feed line from an independent source (110/22kV substation), depending on energy and traction calculations, placed in most cases to the mid-point of the line structure).

22kV DISTRIBUTION INSIDE A TRANSPORT-RELATED UNDERGROUND LINE STRUCTURE

Considering the lengths of the UTLS with DC electric traction, and the amount of the transmitted power, it is necessary to divide the independent 3 AC 22kV cable distribution system in the UTLS into two sections, A and B. Those sections must be structurally separated along the whole length of the route or placed separately into cable troughs made of inflammable materials of grade A, according to the CSN 73 0823 standard. Each of the two sections must be capable of transmitting all the power necessary. Thus it is a totally autonomous 22kV distribution network in the UTLS.

POWER SUPPLY STATIONS (DT, CDT)

Power supply stations are designed in separated sections of stations serving for transport of passengers, on the basis of energy and traction calculations. They are always distribution transformer stations 3 AC 22/0.4kV (DT) or distribution transformer stations and traction converting substations (CDT), where also a DC 825 semiconductor traction substation is located in the same space apart from the distribution transformer station (Prague Metro). It follows from measurements of energy consumption performed on operating lines of the Prague metro that traction power represents about 58% of the consumption, while remaining 42% is consumed by machines and equipment, lighting, ventilation, water pumping etc. The power consumption for the traction can be, according to the experience, estimated at about 1MW per 1km of the track (e.g. for intervals between trains 120s and the train formed of 5 cars). The consumption depends significantly on the track gradient and the type of the cars used.

GROUNDING

Grounding is fundamental for a safe and reliable function of all electrical equipment and also for protection of persons against accidents caused by electric current in a transport-related underground line structure. The grounding systems of individual transformer stations are interconnected along the whole length of a transport-related underground line structure, and they form a unified grounding network. This grounding network is common for high voltage and low voltage equipment and fixed traction equipment. If needed, the grounding is designed even in the sections between stations (if their length crosses 1,500m). Grounding of reinforced concrete underground structures is designed under the foundation slab. It is separated from the foundation slab by insulation. The ground resistance must ensure that the contact voltage in the grounding network does not cross the values of allowable contact voltage. The grounding network is designed by a calculation, where the deciding datum is the root-mean-square value of the current flowing through the grounding grid.

In the cases where cast-iron lining is used partially for the structure, this lining can be utilized for the grounding as the grounding lead. Although, with the introduction of new techniques in building transport-related underground line structures, the cast iron use will decrease, and it will be restricted to specific cases only.

In the practice, the value of the ground resistance required will stay under the value of 0.1 ohm.

Steel reinforcement of building structures is not connected with the grounding system so as to prevent penetration of stray currents from the DC electric traction to the reinforcement, thus to avoid the possible risk of corrosive effects on those structures caused by the stray currents.

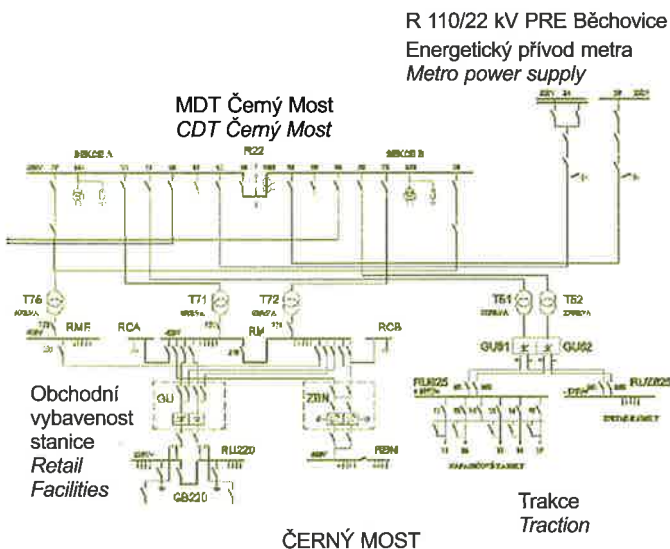
The grounding network along the whole length of a line structure is built from CU strips min. 120mm² in cross section (on the heavy-current side of tunnels), FeZn strips min. 120mm² in cross section (on the light current side of tunnels).

To prevent dragging of the stray currents into the underground line structures with DC traction, and, in reverse, jeopardizing of neighboring buildings and underground depository facilities made of steel by the stray currents leaking from the DC traction being operated in the underground structures, the grounding systems of transport-related underground line structures must not be interconnected with other grounding systems. A minimum distance of 15m in all directions is required to exist between these systems.

FIXED TRACTION EQUIPMENT

DC electric traction is divided longitudinally, on the basis of traction calculations, into independently fed sections with bridged or non-bridged sectioning of the third rail. These sections are fed from both sides, from two neighboring traction-converting substations, with electric blocking of the feeder outlets. If necessary, a switched off condition of the individually fed sections is ensured by short-circuiting devices.

Nominal voltage of the traction DC electric power on the third rail is of 750V, positive pole is connected to the third rail, negative pole on running rails. The running rails are insulated against railway bed by rubber pads to prevent occurrence of the stray currents originating from the electric traction of the UTLS (Prague metro).



Obr. 1 Schema měničny a distribuční transformovny (MDT) s dvojitým kabelovým přívodním vedením 22 kV z veřejné distribuční rozvodny 110/22 kV

Fig. 1 Diagrammatic representation of a converting substation and distribution transformer station with a 22kV double cable supply line from a public 110/22kV substation



Obr. 2 Dvoukolejný tunel metra. Uložení kabelů ohnivzdorných a kabelů se zvýšenou odolností proti šíření plamene na nosné ocelové konstrukce s dvojháčky. Barva pláště kabelů je oranžová. Foto: Metrostav a. s.
Fig. 2 A double-track metro tunnel. Fire resistant cables and cables with enhanced resistance to flame propagation installed on a steel bearing structure with double-hooks. The cable sheathing is orange. Photo: Metrostav a. s.

zované v podzemních stavbách, nesmí se spojovat uzemňovací soustava podzemních dopravních staveb s jinými uzemňovacími soustavami. Mezi těmito soustavami se vyžaduje minimální vzdálenost 15 m všemi směry.

PEVNÁ TRAKČNÍ ZAŘÍZENÍ

Elektrická DC trakce je podélně rozdělena, na základě trakčních výpočtů, do samostatně napájených úseků s překlenutelným nebo nepřeklenutelným dělením napájecí přívodní kolejničky. Napájené úseky mají zajištěno obousměrné napájení, s elektrickým blokováním napájecích vývodů, ze dvou sousedících trakčních měničů. Je-li třeba, je vypnutý stav jednotlivých napájených úseků zajištěn zkratovači. Jmenovité napětí trakční DC elektrické energie na přívodní kolejničky činí 750 V, kladný pól je zaveden na přívodní napájecí kolejničky, záporný pól na jízdní koleje. Jízdní koleje jsou ukládány na kolejevé lože izolované, na pryžové podložky, aby se omezil vznik bludných proudů, pocházejících z elektrické trakce PLDS (pražské metro).

KABELOVÉ ROZVODY

Veškerá kabelová vedení v PLDS je nutno navrhovat z kabelů se zvýšenou odolností proti šíření plamene, podle ČSN IEC 332-3A, s nízkým vývinem dymů a korozivních látek při hoření, s pláštěm a izolací z bezhalogenových směsí (R).

Kabelová vedení, která napájejí zařízení, na kterých závisí bezpečnost osob a funkce důležitých zařízení, je nutno navrhovat z kabelů bezhalogenových, s funkční schopností při požáru podle normy CEI IEC GO 331, s nízkým vývinem dymu a korozivních látek při hoření (V).

Výhradním používáním výše uvedených kabelů se zvýšenou odolností proti šíření plamene (R) a kabelů s funkční schopností při požáru (V) se prakticky vyloučí nebezpečí šíření požáru v PLDS po kabelových vedeních a zejména po kabelových vedeních v tunelech, kde je proudícím vzduchem (větrání, jedoucí vlakové soupravy) šíření vznikleho požáru podporováno.

Pokud jsou veškerá kabelová vedení provedena z kabelů (R) nebo (V), nemusí být na těchto kabelových vedeních v tunelech zřizovány asi po 100 metrech protipožární předsady.

Příslušné kabelové soubory pro výše uvedené kabely je nutno navrhovat rovněž s odolností proti šíření plamene podle ČSN IEC 332-3, zejména kabelové spojky.

Kabelové nosné konstrukce se doporučuje navrhovat s požární odolností minimálně 90 minut. Materiály pro krytí a ukládání kabelových vedení (kabelové žlaby, trubky, roury atd.) musí být stupně A (stavební hmoty nehořlavé), výjimečně (po projednání s Haasčským záchraným sborem) stupně B (nesnadno hořlavé), podle ČSN 73 0823.

Při prostupech kabelových vedení požárně dělicími konstrukcemi musí být propustující kabelová vedení utěsněna protipožárními ucpávkami a potřebnou požární odolností, minimálně však 60 minut.

Z důvodů pohotovostní identifikace kabelů uložených v PLDS je vhodné navrhovat kabely (R) s barvou pláště oranžovou, kabely (V) s barvou pláště světle hnědou.

Černá barva pláště kabelů (plastové kabely) se tedy neadí v PLDS vykytovat. Dodržování těchto zásad pomůže odhalit při kolaudacích "nehodného jedince - plastový kabel", který by některý dodavatel použil v rozporu se zásadou používat v PLDS pouze kabely (R) nebo (V).

(Opatření platná pro pražské metro.)

OCHRANA PŘED ÚRAZEM ELEKTRICKÝM PROUDEM

Veškerá elektrická zařízení situovaná a provozovaná v PLDS musí být zabezpečena tak, aby při své činnosti neohrožovala život ani zdraví cestujících a osob v PLDS pracujících a zároveň vykazovala potřebnou

CABLE DISTRIBUTION

All cable lines in the UTLS must be designed from cables with enhanced resistance to flame propagation, according to the ČSN IEC 332-3A standard, with low smoke and corrosive substances emission in fire, with halogen-free sheath and insulation (R).

The cable lines feeding the equipment which the safety of persons and function of important equipment depends on must be designed from fire resistant (capable of operation in fire in accordance with the IEC 331 standard) halogen-free cables, with low emission of corrosive substances in fire (V).

The sole use of the above referred to cables with enhanced resistance to flame propagation (R) and cables with the functional capacity in fire (V) practically excludes the risk of a fire propagation through UTLS along cable lines, namely along supports the cable lines in tunnels, where flowing air (ventilation, moving trains) supports propagation of a fire once it has occurred.

If all cable lines consist of the (R) or (V) cables, no fire breaks have to be built on those lines every 100m.

The cable systems pertinent to the above referred to cables, cable couplings above all, must be designed with resistance against flame propagation according to the ČSN IEC 332-3 standard.

It is recommended for cable bearing structures to be designed with fire resistance of 90 minutes as a minimum.

Materials for cable lines covers and ducts (cable trays, pipes etc.) must be of the category A (flammable buildings materials), exceptionally (after approval by the Fire Department) of the category B (materials flammable with difficulty) according to the ČSN 73 0823 standard.

Cable lines passing through fire separation structures must be sealed with fire packing with the fire resistance necessary, 60 minutes as a minimum.

It is advisable for the possibility of prompt identification of cables laid in UTLS to design the (R) cables with orange sheathing, and the (V) cables with light brown sheathing. It means that black color of cable sheathing (plastic cables) must not occur in the UTLS. Keeping to those principles will help to find an "inappropriate individual, i.e. a plastic cable", which might be used by a contractor in conflict with the principle of using the (R) or (V) cables only in the UTLS (Guidelines valid for the Prague Metro).

PROTECTION AGAINST ELECTRIC CURRENT CAUSED ACCIDENTS

All electric equipment installed and operated in the UTLS must be protected properly so as to prevent jeopardizing of life and health of passengers and persons working in the UTLS, and, at the same time, to ensure the reliability and life length necessary. For that reason the use of specified equipment in the UTLS is subjected to approval according to specific regulations (e.g. for the Prague Metro). Enhanced protection against dangerous contact with dead parts of electric equipment and distributions is designed. This applies to dead parts up to 1,000V AC and 1,500V DC as well as to dead parts over 1,000V AC and 1,500V DC. For internal spaces of a character of office rooms, some operational rooms, changing rooms and small intermediate stores with external effects AB5, BC2, BD1 and CA1, which are an exception, a base protection is designed.

A Memorandum on determination of external effects (the ČSN 33 2000-3 standard "Determination of base characteristics") must be worked out for all UTLS spaces and rooms. This memorandum is a starting document for the design of the protection in particular spaces and rooms.

The protection against dangerous contact with live parts is carried out by insulation, covers in closed transformer stations are also protected by the location or barriers. In addition, protection by additional insulation is designed for transformer stations (DT, CDT).

The protection against electric current caused accidents is designed in compliance with the ČSN 33 2000-4-41 and other related standards.

PROTECTION OF STRUCTURAL PARTS OF THE UTLS AGAINST CORROSIVE EFFECTS OF STRAY CURRENTS

Reinforced concrete structures of the UTLS have to be protected against corrosive effects of stray currents originating from the DC traction proper and from the DC traction of surface rail-bound traffic (trams, electrified tracks of the Czech Railways). The ground environment aggression stays, owing to the stray currents in the ground, at the level III - increased. In the vicinity of traction converting substations for trams it stays at the level IV - very high. The reason is the dense tram network with many traction converting substations, and also the fact that the tracks of the Czech Railways are electrified by a DC 1,500V direct current system. Assessment of the aggression is carried out according to the ČSN 03 8375.

A geoelectric measurement of the corrosion property of the ground environment and measurement of the ground resistivity in selected points along the whole length of the UTLS is a basis necessary for the protection design.

Protection of reinforced concrete structures of the UTLS against the corrosive effects of the ground environment and stray currents is, for the above referred to reasons, designed as a basic passive secondary protection provided on the surface of the reinforced concrete structures, at their contact with the ground environment.

spolehlivost funkce a délku životnosti. Z tohoto důvodu se určená zařízení schvalují pro použití v PLDS podle zvláštních předpisů (například pro pražské metro).

Ochrana před nebezpečným dotykem neživých částí elektrických zařízení a rozvodů se navrhuje jako zvýšená. To platí jak pro neživé části do 1000 V AC a 1500 V DC, tak i pro neživé části nad 1000 V AC a 1500 V DC. Výjimkou jsou vnitřní prostory charakteru kanceláří, některých provozních místností, šaten a malých příručních skladů s vnějšími vlivy AB5, BC2, BD1, CA1, kde se navrhuje ochrana základní.

Pro veškeré prostory a místnosti PLDS musí být zpracován Protokol o určení vnějších vlivů (ČSN 33 2000-3 Stanovení základních charakteristik), který je výchozím podkladem pro návrh ochrany v jednotlivých prostorách a místnostech.

Ochrana před nebezpečným dotykem živých částí se provádí izolací, kryty, v uzavřených elektrických stanicích též polohou nebo zábranou. V elektrických stanicích (DT, MDT) se navrhuje ještě ochrana doplňkovou izolací.

Při řešení ochrany před úrazem elektrickým proudem se postupuje podle ČSN 33 2000-4-41 a norem souvisejících.

OCHRANA STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ PLDS PŘED KOROZNÍMI ÚČINKY BLUDNÝCH PROUDŮ

Železobetonové konstrukce PLDS musí být ochráněny před korozními účinky bludných proudů z vlastní DC trakce a z DC trakce povrchové kolejové dopravy (tramvaje, elektrizované tratě ČD). Agresivita půdního prostředí se vzhledem k bludným proudům v zemi (například v Praze) pohybuje na stupni III – zvýšená, v blízkosti trakčních měřičů tramvajů na stupni IV – velmi vysoká. Příčinou je především hustá tramvajová síť s množstvím trakčních měřičů a také skutečnost, že tratě ČD jsou v Praze a okolí elektrizovány stejnosměrnou soustavou DC 1500V.

Hodnocení agresivity prostředí je prováděno podle ČSN 03 8375.

Nutným podkladem pro návrh ochrany je provedení geoelektrického měření korozity zemního prostředí a zdánlivého měrného odporu zeminy ve vytypovaných bodech celé délky PLDS.

Ochrana železobetonových stavebních konstrukcí PLDS před korozními účinky půdního prostředí a bludných proudů se (z výše uvedených důvodů) navrhuje jako základní pasivní sekundární ochrana na povrchu železobetonových konstrukcí ve styku s půdním prostředím.

V případech, kdy z důvodů použité technologie stavby tunelů (v praxi spíše jejich některých částí) není reálné navrhovat základní pasivní ochranu (například u prefabrikovaných zatahovaných částí), navrhuje se základní primární ochrana. V tomto případě však musí být použity vodotěsné betony (ČSN 73 1209) se sníženým obsahem chloridových iontů pod 0,4 % z hmotnosti cementu a musí být zohledněno zvýšené krytí ocelové výztuže a eventuálně navrženo její zesílení (ČSN 73 6206).

Celá stavba se podélně rozděluje na galvanicky oddělené úseky. V traťových tunelech v délce do 80 metrů, ve stanicích v dilatačních spárách jednotlivých částí železobetonových konstrukcí. Toto galvanické oddělení platí i pro dodatečně prováděné vnitřní stavební konstrukce (například pro kolejové lože, odstupové rampy a podobně).

Část ocelové výztuže v každém galvanicky odděleném úseku je v potřebném průřezu mm² provařena, aby bylo možno zjišťovat eventuelní průniky bludných proudů do železobetonové konstrukce.

Na rozhraní galvanicky oddělených železobetonových stavebních konstrukcí se zřizují kontrolní měřicí vývody z ocelové výztuže, pro možnost měření průniku bludných proudů do této konstrukce. Toto měření se provádí po dokončení stavby a dále při provozu PLDS v pravidelných časových intervalech, naměřené hodnoty se evidují, sledují a vyhodnocují se jejich změny. V případech náhlého zvýšení změřených hodnot se přijímají opatření ke zjištění průniku bludných proudů do konstrukcí a navrhuje se opatření k zamezení těchto průniků.

Jednotlivé měřicí vývody se kabely soustřeďují do kontrolních měřičích bodů a odtud se kabely převádějí do měřičích centra, které tvoří svorkovnicové rozvodnice v každé elektrické stanici.

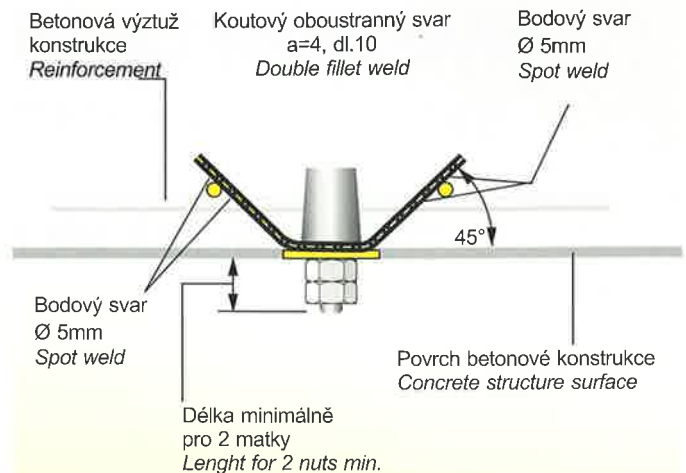
Galvanicky oddělené stavební konstrukce nesmí být překlenuty vestavěnými nosnými kovovými konstrukcemi, kovovým potrubím, kolejnicemi, kovovými pláštěmi kabelů a podobně (výčet není taxativní). Z tohoto důvodu se kovové nosné konstrukce připevňují do železobetonových stavebních konstrukcí přes izolační hmoždinky, kovový potrubí a kolejnice se ukládají na izolační podložky.

Veškeré přípojky na vnější inženýrské sítě, pokud jsou z kovových materiálů, musí být opatřeny při vstupu do PLDS izolačními vložkami.

Kovové pláště kabelů, které vstupují jako přípojky nebo přívody do PLDS a nejsou opatřeny na povrchu izolací, musí být uloženy na kovové nosné konstrukce izolované (například na izolační desky, izolační příchytky-kameny a podobně). Tyto kovové pláště lze uzemnit na uzemnění metra pouze přes průrazky. Používají se pouze průrazky s opakovatelnou funkcí. Elektrický odpor dvou sousedících železobetonových konstrukcí se považuje za vyhovující, pokud jeho změřená hodnota není menší než 5 kilohmů.

ZÁVĚR

Je třeba konstatovat, že s každou nově projektovanou podzemní linkou dopravní stavbou (u metra s každou novou trasou), dochází k použití nových technologií jak ve vlastní stavbě, tak i v jejím technickém a provozním vybavení. To se v plné míře týká také elektrické energie, jejího rozvodu, využití a příslušných elektrických zařízení včetně zařízení DC (stejnoseměrné) trakce, řešení uzemnění, ochrany před korozními účinky bludných proudů a bezpečnosti osob a technických zařízení.



Obr. 3 Detail kontrolního měřičího vývodu
Fig. 3 Detail of check measurement outlet

In the cases when it is not realistic to design the basic passive protection due to the tunneling technique used (e.g. at precast sections placed in position by drawing), a basic primary protection is designed. Although, in such a case, watertight concrete (the ČSN 73 1209 standard) with the chloride ions contents reduced under 0,4% of the cement weight has to be used, and increased steel reinforcement cover has to be taken into consideration or the reinforcement has to be strengthened.

The whole structure is divided longitudinally into galvanically separated sections. Running tunnels are divided into 80m-long sections, stations are divided by expansion joints between individual parts of the reinforced concrete structures. This galvanic division is also used for subsequently performed internal structures, e.g. trackbed, emergency walkway ramps etc.).

A part of the steel reinforcement in each galvanically separated section is welded together, with the weld cross section of the mm² as necessary, so that the determination of contingent stray currents leakage into the reinforced concrete structure would be possible.

Check measurement outlets from the steel reinforcement are installed at the contacts between galvanically separated reinforced concrete structures to make the measurement of the leakage of the stray currents into the structure possible. This measurement is carried out after the construction completion, and further on, at regular intervals, during the UTLS operation. The measured values are recorded and monitored, and their changes are assessed. In cases of an abrupt increase in the measured values, measures are adopted to detect the leakage of stray currents into the structures, and measures are designed to stop this leakage.

Individual measurement outlets are connected to common check measurement points by cables. Other cables lead from the check measurement points to a measurement center, which consists of a terminal distribution board installed in each transformer station.

Galvanically separated building structures must not be bridged by built-in bearing steel structures, steel pipes, rails, metal cable sheathing etc. (the listing is not enumerative). For that reason, bearing steel structures are fixed to reinforced concrete structures through insulation dowels. The steel pipelines and rails are placed on insulation pads.

All connections to external utility networks made of metallic materials must contain insulation inserts at the entry to the UTLS.

Metallic sheathing of cables which enter the UTLS as connections or feed lines and are not covered by insulation must be insulated from metal bearing structures (e.g. by insulation plates, insulating cable clips etc.). Those metallic sheaths can be connected to the metro grounding system via breakdown devices only. Only the breakdown devices with repeatable function are used. Electric resistance between two neighboring reinforced concrete structures is considered as satisfactory if its measured value is not less than 5kOhm.

CONCLUSION

It is necessary to state that a lot of new techniques, both in the structure and its technological and operational equipment, are introduced with every newly designed transport-related underground line structure (regarding the metro, this is with each new line). This fully applies to the electric energy, its distribution, utilization, and pertinent electric facilities, including DC traction equipment, the design of grounding, protection against corrosive effect of stray currents, and safety of persons and technical facilities.

ENERGETICKÝ SYSTÉM PRAŽSKÉHO METRA

THE PRAGUE METRO POWER SYSTEM

ING. VLADIMÍR SEIDL, METROPROJEKT Praha, a. s.

Pražské metro je specifická podzemní stavba, která při provozování vyžaduje speciální systém zásobování elektrickou energií tak, aby nedošlo k ohrožení bezpečnosti přepravovaných osob a obsluhujícího personálu.

Pražské metro je jedním z největších velkoodběratelů elektrické energie v hlavním městě Praha. Průměrná roční spotřeba elektrické energie činí 192 gigawatthodin. Odběr pražského metra je zařazen v 1. stupni důležitosti elektrického napájení.

Jednotlivé provozní úseky tras metra jsou napájeny z rozvodů 110/22 kV PRE. Přívodní kabelová vedení 22 kV jsou dvojítá a spolu s nimi je přikládán ovládací optický kabel, který slouží jako spojovací cesta ochrana a přenos dalších údajů mezi rozvodnou PRE a vstupní elektrickou stanicí příslušného provozního úseku trasy metra. Ze vstupní elektrické stanice je vedeno dvojité kabelové vedení 22 kV do ostatních stanic. Vzhledem k již uvedenému prvnímu stupni dodávky elektrické energie je rozvod 22 kV rozdělen do dvou sekcí vedených samostatnou trasou.

Na jednotlivých trasách metra jsou budovány v každé stanici distribuční transformovny a podle potřeby napájení trakčního zařízení vycházející z energetického výpočtu jsou v některých stanicích umístěny měnirny a distribuční transformovny. Distribuční transformovna obsahuje technologická zařízení sloužící k napájení osvětlení stanice, silových rozvodů a dalších potřeb metra. Zároveň jsou z těchto transformoven napájeny i v současné době se rozvíjející obchodní vybavenosti stanic metra.

Distribuční transformovna je tvořena rozvaděčem 22 kV, třemi distribučními transformátory 22/0,4 kV, z nichž jeden slouží pro napájení světelných rozvodů, druhý pro napájení motorových (silnoprůdých) rozvodů a třetí pro napájení obchodní vybavenosti.

Dále je distribuční transformovna tvořena rozvaděčem s centrální kompenzací, dobíječi (usměrňovač s akubaterií a stejnosměrný rozvaděč 220 Vss), záložním zdrojem UPS a dalším zařízením. Měnírna a distribuční transformovna obsahuje shodná zařízení jako distribuční transformovna, navíc je rozšířena o trakční blok sloužící pro napájení trakčního zařízení.

Tento blok je tvořen dvěma trakčními transformátory s usměrňovači a stejnosměrnými rozvaděči 825 Vss.

Každý transformátor je za normálního provozu zatížen maximálně na 50 % výkonu, tzn. že při výpadku jednoho z transformátorů (sekce A a B) je schopen funkční transformátor převzít celou zátěž.

Z distribučních rozvaděčů je potom proveden rozvod elektrické energie do podružných rozvaděčů silových rozvodů a osvětlení a odtud dále k jednotlivým spotřebičům.

Energetický dispečink se nachází v Centrálním dispečinku MHD v ulici Na Bojišti. Odtud jsou dálkově ovládány a zpětně signalizovány stavy trakčních měniren a distribučních transformoven. Dále je z energetického dispečinku řízeno a kontrolováno zásobování elektrickou energií.

Osvětlení stanic metra prošlo od prvních provozovaných úseků velkým vývojem ať již v typech používaných svítidel, tak v uložení napájecích kabelů. V současné době se používají pro osvětlení nástupišť a eskalátorových tunelů sdružené nosiče svítidel.

Osvětlení v metru se dělí na hlavní, pomocné, orientační a nouzové.

The Prague Metro is a specific underground structure, which requires a special system of power supply during its operation. The system must guarantee that the safety of passengers and the attending staff is not compromised.

The Prague Metro is one of major consumers of electrical energy in the Prague capital. An average annual consumption of electrical energy amounts to 192 gigawatt.h. The Prague metro consumption is rated as class 1 in terms of importance of power supply.

Individual operational sections of the metro lines are fed from 110/22 substations of the Prague distribution system. The 22 kV feeder cable lines are doubled. They are led together with an optical control cable, which serves as a connection route for protections and for transmission of other data between a PRE substation and an entry substation pertaining to a particular operational section of the metro line. A 22kV double cable line is led from the entry substation to the other substations. With respect to the above referred to first stage of the power supply, the 22kV distribution is split into two sections led in a separate route.

Each station of a particular metro line has its own distribution substation, and, according to the need of the traction facility supply based on an energy calculation, converter stations combined with distribution substations are built in some metro stations. A distribution substation houses technological equipment serving for supplying of the station illumination, power distributions and for other needs of the metro. Simultaneously, retail shops, which are thriving now, are supplied from these substations.

A distribution substation consists of a 22kV switchboard, three 22/0.4kV distribution transformers (one transformer serves for supplying of lightening distributions, the other one for supplying of motor, i.e. heavy current distributions, and the third one for supplying of the retail facilities). In addition, the distribution substation houses a switchboard with a central compensation, chargers (a rectifier with an accumulator battery and a direct current 220 V switchboard), a stand-by breakdown-proof source and other equipment. The converter station combined with a distribution substation houses identical equipments the distribution substation. In addition, it is extended by installation of a traction block feeding the traction facility. This block consists of two traction transformers with converters and 825V DC switchboards.

Each transformer is, under standard operation, loaded at max. 50% rated power. This means that in case of a breakdown of one of the transformers (sections A and B) the functional transformer can assume the whole load. The power is then distributed from the distribution transformers to sub-distribution boards for power distribution and illumination, and then to individual electrical facilities.

The energy control centre is located in the Urban Mass Transit Central Control building in Na Bojišti street. The state of traction converter stations and distribution substations is remotely controlled from this place and signalled back. In addition, the supply of electrical energy is controlled from the energy control centre.

Illumination of the metro stations has experienced a significant development since the first operated sections, both in terms of the luminaires used and placement of cable feeders. Currently joint bearers of luminaires are used for illumination of platforms and escalator tunnels.

Illumination installed in the metro is divided into the main, orientation and emergency-purpose groups.

ÚLOHA A FUNKCE TELEVIZNÍHO A RÁDIOVÉHO ZAŘÍZENÍ V PODZEMNÍ DOPRAVNÍ STAVBĚ

THE ROLE AND FUNCTION OF TELEVISION AND WIRELESS FACILITIES IN AN UNDERGROUND STRUCTURE

ING. VLASTA BOLOMOVÁ, METROPROJEKT Praha, a. s.

1. PRŮMYSLOVÁ TELEVIZE PRO BEZPEČNOST CESTUJÍCÍCH V METRU A PRO PLYNULOST PROVOZU

V každé stanici metra je instalováno zařízení průmyslové televize. Jeho úkolem je sledovat pohyb cestujících v prostorách metra, a to nejen pro potřeby řízení provozu metra, ale i z hlediska bezpečnosti cestujících.

Základem instalovaného systému jsou kamery sledující výstup a nástup cestujících do souprav metra po celé délce nástupiště u obou kolejí. Jejich obraz je přenášen na přehledové monitory umístěné na nástupišti v zorném úhlu strojvedoucího vlaku. Strojvedoucí je tak informován o pohybu cestujících podél celého vlaku a má možnost předejít úrazu cestujícího při předčasném uzavření dveří soupravy a – nedej bože, při vlečení osoby vlakem metra.

Stejná obrazová informace je také přenášena na pracoviště vlakového dispečera v Centrálním dispečinku MHD v ulici Na bojišti v Praze 2.

Další kamery sledují pohyb cestujících po eskalátorech, a to zejména na jejich nástupních plochách, kde je největším rizikem pád skupiny cestujících vyvolaný dominovým efektem. Jedna kamera snímá přehledný záběr celého středního prostoru eskalátorového tunelu.

Tyto záběry jsou nutné pro sledování bezpečného pohybu cestujících po eskalátorech. Obraz těchto kamer je přenášen na pracoviště přepravního manipulanta, který má možnost řídit provoz eskalátorů podle momentální situace s cílem zajistit jeho plynulost a předejít nebezpečnému vývoji. V případě nutnosti, když některý cestující na eskalátorech upadne, je možné tyto eskalátory dálkově zastavit tlačítkem STOP.

Ve vestibulech a podchodech metra jsou umístěny skryté kamery, které slouží pro monitorování bezpečnostní situace, a to jak personálem metra, tak i policií. O aktuální situaci v těchto prostorech je obrazem informován přepravní manipulant dané stanice, který má prostředky pro okamžitou reakci, a dispečink policie pro organizaci zásahu, je-li nezbytný, a pořízení videozáznamu pro případné další policejní potřeby.

Zařízení průmyslové televize je ve stanicích metra instalováno již od zahájení provozu metra. Požadavky na toto zařízení se v průběhu let vyvíjejí a stoupají nároky na kvalitu a rozsah poskytovaných informací. Současné zařízení přestává vyhovovat svými parametry a možnostmi potřebám jak metra, tak i policie. Rozhodnutí DP-M o postupné výměně a doplňování zařízení průmyslové televize ve všech citlivých místech metra, a to nejen v placeném prostoru, ale i v prostorech souvisejících, na nástupištích, vestibulech a podchodech metra, zařízením s vyšší užítelnou hodnotou je logické.

Novým technickým i organizačně-provozním opatřením je chystané instalování kamer do jednotlivých vagonů. Cílem je zvýšení bezpečnosti cestujících i při jízdě vlakem a lepší ochrana majetku metra. Projektční přípravu této rozsáhlé akce zadal DP-M zkušené projektové organizaci Metroprojekt Praha, a. s., která se touto činností na vysoké odborné úrovni zabývá již třicátý rok.

2. RÁDIOVÁ SÍŤ V METRU

Rádiový systém metra pokrývá stanice metra rádiovým signálem:

- v pásmu 400 Mhz (TSM 400) pro Ministerstvo vnitra ČR;
- v pásmu 900 Mhz (TSM 900) pro operátory Eurotel, RadioMobil a Český Mobil.

1. CLOSE-CIRCUIT TELEVISION PROVIDING SAFETY OF PASSENGERS IN THE METRO AND FLUENT OPERATION

A close-circuit television facility is installed in each metro station. Its task is to monitor movement of passengers inside the metro, not only for the metro operational control purposes, but also for safety of passengers.

The system installed is based on cameras monitoring passengers getting in and out of the metro trains along the whole length of a platform, at both tracks. The image is transmitted to overview monitors installed on the platform inside the train driver's looking angle. Thus the driver is informed about the movement of passengers along the whole train length, and is able to prevent an injury to a passenger caused by closing the train doors untimely which may be, the Lord forbid, followed by dragging a person by the metro train.

Identical visual information is also transmitted to the working place of train traffic controllers at the urban mass transit (UMT) control centre.

Other cameras monitor the movement of passengers along escalators, primarily at the areas where they get on, i.e. the locations where the highest risk is a group falling due to the domino effect. One camera takes an overall view of the central space of the escalator tunnel.

Those views are necessary for monitoring of a safe movement of passengers along escalators. The image taken by those cameras are transmitted to the working place of a traffic operator, who can control the operation of escalators according to a momentary situation, with the goal of ensuring its fluency and prevention of a dangerous development of events. In case of emergency, if a passenger falls down on an escalator, the escalator can be stopped remotely by depressing a STOP button.

In ticket halls and the metro underpasses, there are hidden cameras installed, which are used for monitoring of the safety situation by both the metro staff and the police. The visual information on the current situation in those spaces is given to the traffic operator of the respective station, who has the means available for an immediate reaction, and to the police control centre for organisation of an action if it is necessary. The police also provide a video record for further police use, if needed.

The closed-circuit television system has been in service in the metro stations since the commencement of the metro operation. Requirements on this facility have been developing, and demands on quality and scope of the provided information rising in the course of passing years. The parameters of the existing equipment become unsatisfactory for the needs of both the metro and the police. The DP-M's (the Transport Company - Metro) decision to replace gradually the closed-circuit television equipment with, and add an equipment of a higher utility value at all sensitive locations of the metro, i.e. not only in paid areas, but also in associated areas, at platforms, ticket halls and metro underpasses, is logical.

A new technical and organisationally operational measure consists in the installation of cameras into individual train carriages being under preparation. The objective of this measure is to enhance the safety of passengers even during their travels on the train and to improve the protection of the metro property. DP-M placed the order for preparation of the design for this



Obr. 1 Monitory sledující provoz ve stanici metra, umístěné v místnosti přepravního manipulanta
Fig. 1 Monitors observing the traffic in a metro station, located in traffic operator's room



Obr. 2 Kamera umístěná ve střední lodi nástupiště
Fig. 2 A camera installed at a central platform bay

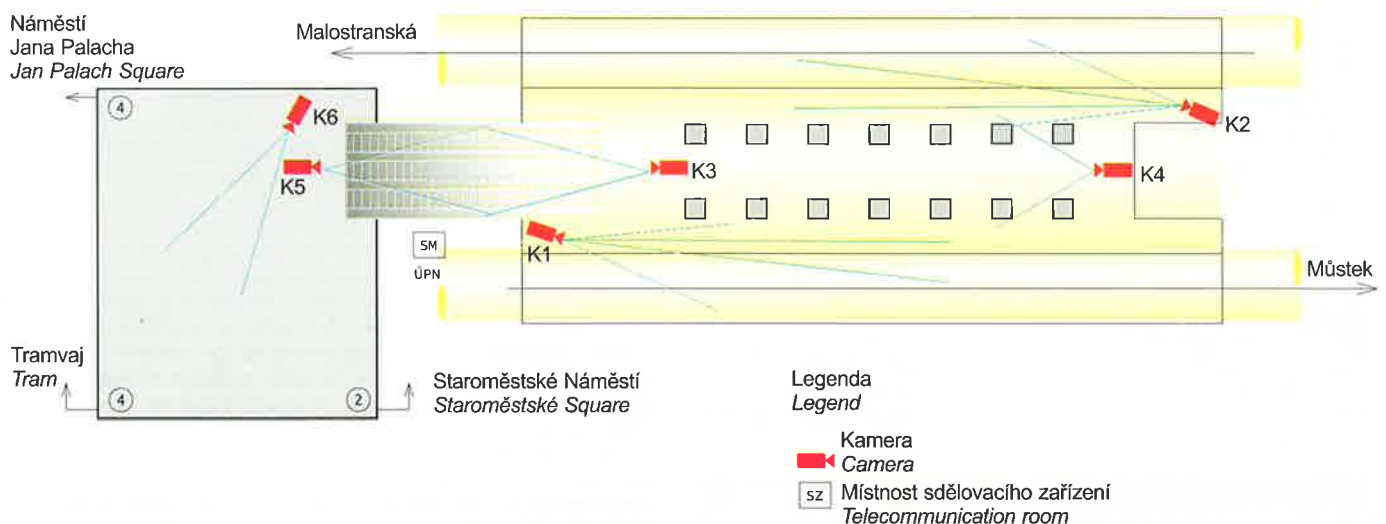
wide-ranging action with Metroprojekt Praha a.s., which has been dealing with this activity for thirty years.

2. WIRELESS NETWORK IN THE METRO

The metro system of the wireless covers the metro stations with radio signal:
- within a range of 400Mhz (TSM 400) for the Ministry of the Interior of the CR
- within a range of 900Mhz (TSM 900) for Eurotel, RadioMobil and Cesky Mobil operators

Because of differing requirements, the TSM 400 and TSM 900 systems are installed separately. Transmission of radio signals of the both frequency ranges is provided in public circulation spaces.

The 400-900Mhz metro wireless system consists of base stations for all services, nodal technological stations housing converters converting h.f. signals to optical transmission, optical fibres in the optical cables network, converters converting optical signals to high frequency signals in individual metro stations, bilateral amplifier units, and aerial systems radiating signals of GSM Eurotel, RadioMobil, Cesky Mobil networks and a wireless network of the MV CR-TETRAPOL (PEGAS) network.



Obr. 3 Schéma rozmístění kamer
Fig. 3 Scheme of camera distribution



Obr. 4 Kamery sledující provoz na nástupišti
Fig. 4 Cameras monitoring the traffic at a platform

Pro rozdílné požadavky jsou budovány systémy TSM 400 a TSM 900 odděleně. Šíření rádiových signálů obou frekvenčních pásem je zajišťováno v těch prostorech metra, které jsou přístupné veřejnosti.

Rádiový systém metra 400 – 900 Mhz je tvořen základnovými stanicemi všech služeb s převodníky v signálu na optický přenos v uzlové technologické stanici, optickými vlákny z rozvodu optických kabelů, převodníky optických signálů na signály vysokofrekvenční v jednotlivých stanicích metra, obousměrnými zesilovači – jednotkami a anténními systémy, které vyzařují v určených prostorech metra signály sítí GSM Eurotel, RadioMobil, Český Mobil a rádiové sítě MV ČR-TETRAPOL (PEGAS).

Systém zahrnuje následující služby:

- rádiový systém TSM 400: provozovatel MV ČR, služba TETRAPOL-PEGAS, pásmo 400 Mhz;
- rádiový systém TSM 900: provozovatel Eurotel, služba GLOBAL, pásmo 900 Mhz;
- provozovatel RadioMobil, služba PEGAS, pásmo 900 Mhz;
- provozovatel Český Mobil, služba OSKAR, pásmo 900 Mhz.

Stav dnešního pokrytí rádiovým signálem je:

- trasa A: celá trasa;
- trasa B: postupně celá trasa;
- trasa C: postupně celá trasa.

Hlavní částí systému jsou základnové radiostanice všech služeb umístěné v Centrálním dispečinku Na bojišti, Praha 2. Signály všech vř kanálů daného frekvenčního pásma jsou sdruženy do jediného vř signálu a poté převedeny na optický signál. Ten je přenášen optickým kabelem do podřízených základnových radiostanic v jednotlivých stanicích metra. Pro přenos do jednotlivých stanic metra jsou potřebná optická vlákna vyčleněna v kabelech firmy Pragonet.

V každé stanici metra jsou optické signály jednotlivých frekvenčních pásem převedeny zpět na vř signál a zesíleny na potřebnou úroveň. Vř signály jednotlivých pásem jsou sdruženy do jediného vř signálu a zavedeny do anténního systému.

Rozvody kabelů a anténní systémy jsou vybudovány pro oddělená frekvenční pásma 400 a 900 Mhz. Rozvod optické sítě z centrální stanice v Centrálním dispečinku je řešen tak, aby ve všech základnových stanicích připojených na jedno vlákno byla přibližně stejná úroveň signálu. Optická síť je navržena tak, aby parametry přenosu byly co nejlepší – používá se moderní ukončení optickými konektory, spoje jsou svařované.

Základnové radiostanice, které jsou v jednotlivých stanicích metra v samostatných sdělovacích místnostech (tato sdělovací místnost sdružuje všechna sdělovací zařízení stanice metra), obsahují zejména optopřevodníky, výkonné zesilovače a duplexery, oddělující výstup zesilovače do anténního systému stanice a výstup do optické sítě.

Anténní systém v jednotlivých stanicích metra se skládá z vlastních antén a rozvodu koaxiálních kabelů a liší se podle dispozičního uspořádání stanice metra.

V zájmu spolehlivosti provozu jsou radiozařízení v jednotlivých stanicích metra i zařízení v Centrálním dispečinku napájena z bezvýpadkového zdroje metra. Pro překlenutí náhodných krátkodobých výpadků sítě (např. při přepínání napájení) jsou ke každému zařízení instalovány zdroje UPS.

The system covers following services:

- the TSM 400 wireless system: operated by the MV CR, serviced by TETRAPOL-PEGAS, the 400Mhz range
- the TSM 900 wireless system: operated by Eurotel, serviced by GLOBAL, the 900Mhz range;
- operated by Radiomobil, serviced by PEGAS, the 900Mhz range;
- operated by Cesky Mobil, serviced by OSKAR, the 900Mhz range.

The current state of the wireless signal coverage:

- the line A: the whole line
- the line B: progressively the whole line
- the line C: progressively the whole line

The main part of the system consists in the base wireless stations of all services installed in the Control Center building in Na Bojišti street, Prague 2. Signals of all h.f. channels of a particular frequency range are joined into a single hf signal and then converted into an optical signal. This signal is transmitted by an optical cable to base substations located in individual metro stations. Optical fibres needed for the transmission to the individual metro stations are set aside in cables owned by the Pragonet company.

The optical signals of the particular frequency ranges are re-converted to the hf signal in each metro station, and introduced into the aerial system.

The cable distribution and aerial systems are developed for separated frequency ranges of 400 and 900Mhz. The optical network distribution from the central station at the Central Control building is designed so that an approximately equal level of the signal is at all base stations connected to a particular fibre. The optical network is designed so that the transmission parameters are as good as possible. A state-of-the-art termination by means of optical connectors and welded joints are utilised.

The base wireless stations, which are installed in individual stations in separated communication rooms (such a communication room joins all communication equipment of a metro station) house optical converters, powerful amplifiers and a duplexer separating the amplifier output into the station aerial system from the output into the optical network.

The aerial system in individual metro stations consists of aerials and a coaxial cable distribution. The systems differ depending on the layout of the metro stations.

For the sake of the operational safety, the wireless facilities found in individual metro stations and facilities at the Central Control are fed from a failure-proof source of the metro. To cope with accidental short-term failures of the network, e.g. during switching of the feeding), UPS sources are installed at each facility.



Obr. 5 Příklad umístění antény na nástupišti
Fig. 5 An example of installation of an aerial at a platform

PODZEMNÍ STAVBY A ZDRAVOTNĚ POSTIŽENÍ

UNDERGROUND CONSTRUCTIONS AND THE DISABLED

PETR LNĚNIČKA, METROPROJEKT Praha, a. s.

A SJEDNOCENÁ ORGANIZACE NEVIDOMÝCH A SLABOZRÁKÝCH / AND CZECH BLIND UNITED

Mnohé navrhované a realizované stavby jsou umístěny pod terémem, v podzemí. I pro tyto stavby je nutné zajistit jejich přístupnost a užívání osobami s omezenou schopností pohybu a orientace. O které stavby umísťované v podzemí se především jedná? Převážnou většinou podzemních staveb využívaných i zdravotně postiženými jsou stavby dopravní a s dopravou související.

Právě dopravní stavby jsou pro tuto skupinu uživatelů mimořádně důležité. Proč? Jednou ze základních potřeb každého z nás je možnost využívat dopravu, schopnost přepravit se z jednoho místa na místo jiné. Důvody pro používání dopravy, individuální nebo hromadné, mohou být velmi různé. Cesta dopravními prostředky vede za vzděláním, do zaměstnání, za zdravotní péčí, kulturou, sportem, do přírody, k přátelům i jinam. Potřeba využívat dopravy je stejná pro všechny, ať už se jedná o osoby bez zdravotního postižení a omezení, nebo o ty, kteří pohybová a smyslová postižení a poruchy mají. Tento problém je nutné vidět a vnímat z obou stran. Na jedné straně jsou možnosti v řešení dopravních staveb, dopravních prostředků a systémů, možnosti dopravců i organizátorů dopravy, na druhé straně jsou potřeby a požadavky této nikoli zanedbatelné skupiny cestujících.

Úvodem je nutné zmínit obecnou rovinu problému. Postavení občanů se zdravotním postižením má ve společnosti dvě základní úrovně – sociální a integrační. Úroveň sociální představuje systém sociálních opatření (důchody, dávky, příspěvky) pro tyto občany, který jim zajišťuje nejen základní existenční podmínky, ale i kompenzuje zvýšené životní náklady, které souvisejí s jejich zdravotním postižením. Druhá úroveň – integrační, znamená plné zapojení občanů se zdravotním postižením do všech oblastí života (souvisí s možností naplňování občanských a lidských práv) – jde zejména o zapojení v oblastech společenských a kulturních aktivit, vzdělávání, zaměstnávání a dalších.

Základním právem každého občana je právo na svobodný pohyb, které je pak především u občanů se zdravotním postižením úzce spojeno s potřebou využívání všech druhů veřejné, zejména hromadné dopravy. Problematika bezbariérové přístupnosti a užívání veřejné hromadné dopravy osobami s omezenou schopností pohybu a orientace patří mezi úkoly, které byly zpracovány v programu vlády pro zdravotně postižené. Tento vládní program byl souhrnně nazván Národním plánem opatření pro snížení negativních důsledků zdravotního postižení a je od doby svého vzniku, roku 1993, průběžně aktualizován. Možnost používání veřejné dopravy je velmi často rozhodující pro sociální rehabilitaci osob se zdravotním postižením a jejich reálné začlenění do života, do společnosti.

Pro správné pochopení mimořádného významu přístupnosti a užívání dopravy osobami s omezenou schopností pohybu a orientace je vhodné si uvědomit, že se jedná o problém v několika rovinách. Základní rovinou je jistě právní a psychosociální aspekt začlenění zdravotně postižených do společnosti. Druhým, rozhodně nezanedbatelným, faktem jsou i ekonomicko-sociální faktory zvyšování počtu soběstačných lidí ve společnosti. Všechny sociálně statistické prognózy totiž jasně ukazují, že tento krok je nezbytný a bez něj se všechny vyspělé země mohou dostat během příštích dvaceti až třiceti let do fakticky neřešitelné ekonomické a sociální situace. Bez zvětšování počtu samostatných a soběstačných lidí s omezenou schopností pohybu a orientace se může stát, že potřeby služeb pro tyto lidi (například asistentká služba, nutnost sociální péče) budou převyšovat možnosti společnosti. Další rovinou, ve které se v dané problematice pohybujeme, je i efektivnost vynakládaných prostředků na sociální rehabilitaci. Ty jsou účelné vynaložené jen tehdy, může-li zdravotně postižený všeho, co se v jejím průběhu naučil, skutečně používat v denním životě. Aby tomu tak bylo, musí mít zdravotně postižený schopnost a možnost se přemisťovat z místa na místo, využívat dopravu. Nezbytnou podmínkou pro to je vhodné řešení či dodatečné úpravy dopravních cest, pořízování bezbariérových nebo doplňování existujících dopravních prostředků.

Základem bezbariérové dopravy je přístupnost a užívání dopravních prostředků i dopravních cest. Pro jednotlivé základní skupiny zdravotně postižených uživatelů dopravy se požadavky na tuto přístupnost a užívání zásadně odlišují. Jiné jsou pro lidi s pohybovými postiženími a omezeními, jiné u osob se smyslovými poruchami zraku a ještě jiné pro uživatele dopravy se sluchovými nedostatečnostmi a poruchami. Požadavky a potřeby prvních dvou skupin v dopravě jsou dominantní, potřeby slu-

Many of the projected and realized structures are located beneath the surface, in the underground. Even for these structures, it is essential to ensure their accessibility and usage for persons with limited mobility and orientation ability. Which structures located underground are mainly referred to? By clear majority, underground transport-related structures and those associated with transportation are the ones to be used by the disabled the most.

Exactly the transport-related structures are of extraordinary importance for this group of users. Why? One of our basic needs is the ability to use transportation, the ability to travel from one place to another. Reasons for using transportation, individual or mass, can be very different. A journey using means of transport heads for education, work, healthcare, culture, sports, friends or elsewhere. The need to use transportation is the same for everyone, being it persons without any health disadvantages or limitations, or persons with impaired mobility or senses. It is necessary to look at and perceive this problem from both sides of the coin. On one side, there are possibilities in solutions of the underground structures, transportation mediums and systems, options of the transporters and transportation organizers. On the other side, there are needs and requirements of this not neglectable group of passengers.

Within the introduction, the general level of the problem has to be stated. The status of disabled citizens has two basic levels within the society, social and that of integration. The social level is represented by a system of social welfare (pensions, allowances, contributions) for these citizens. This system not only ensures their basic existential conditions, but also compensates the increased life expenses, increased due to their disability. The other level, the issue of integration, means a full participation of the disabled citizens in all fields of life (coheres with the possibility to exploit civil and human rights). It mostly deals with involvement in the fields of social and cultural activities, education, employment or other.

Each citizen has a basic right of free movement, which is then, especially for the disabled persons, closely coherent with the need to use all kinds of public, mostly mass, transportation. The solution of problems of barrier-free accessibility and usage of the mass public transportation by the persons with limited mobility and orientation ability is one of the tasks, which have been elaborated within the governmental program for the disabled. This governmental program has been globally named the National plan of measures for reduction of negative effects of disability, and it has been continuously updated since its formation in 1993. The possibility of usage of the public transportation is often crucial in social rehabilitation of disabled persons and their practical integration into the life, into the society.

For proper understanding of the extraordinary importance of accessibility and usage of transportation by persons with limited mobility and orientation ability, it is convenient to become aware of the fact that the problem has several levels. The legal and psychosocial aspect of integration of the disabled into society forms the ground level. Economic and social factors of the increasing number of the self-contained persons within the society represent the second, definitely not neglectable, fact. Simply, all of the socially statistical prognoses clearly show that this step is essential and without it, all of the developed countries can end up in a practically insolvable economic and social situation within the next twenty or thirty years. Without the increase in the number of the independent and self-contained persons with limited mobility and orientation ability, it could happen that needs for services for these persons (for instance assistance service, need for social care) will exceed the potentials of society. Another level, at which we operate when we solve these problems, is the effectiveness of expenses spent on the social rehabilitation. These are meaningfully spent only if the disabled person is able to really routinely use everything what he or she has learned during the rehabilitation. To be so, the disabled person has to have the ability and possibility to travel from place to place, use the transportation. Suitable solutions or additional adjustments of traffic routes, implementation of barrier-free or complementation of current means of transport are the essential conditions.

The basic element of barrier-free traffic lies in accessibility and usage of traffic routes and means of transport. For individual basic groups of the disabled transportation users, the requirements on accessibility and usage differ significantly; persons with impaired mobility have different requirements than persons with impaired vision, and requirements of transportation users

chově postižených jsou z hlediska úpravy prostředí i dopravních prostředků minimální; především proto, že naše civilizace je výrazně vizuálně orientována. Proto i tento článek, který se bude zabývat úpravami a lakovým provedením podzemních staveb, zejména dopravních, aby byly přístupné všem, tedy i zdravotně postiženým, bude respektovat výše uvedená specifika jednotlivých postižení.

Které podzemní stavby je třeba zmínit? Především je to páteří dopravní systém velkých měst, podzemní dráha a dále podzemní stavby, které zajišťují bezkolizní pohyb zejména pěších – podchody. U nich se však jedná o podobnou situaci, kterou u podzemní dráhy – metra známe z podzemních vestibulů a výstupů ze stanic.

Zpočátku si všimneme problému pohybově postižených. Pro ně je nejdůležitější překonávání výškových rozdílů v přístupu do všech veřejnosti přístupných částí podzemní dráhy – metra. Vrcholově určená koncepce pražského metra ve svých počátcích s pohybově postiženými, především s lidmi na vozíku pro invalidy, nepočítala. Přístup do stanic metra včetně podchodů a vestibulů byl pouze pevnými schodišti a eskalátory. Ani v sociálních zařízeních na metru nebylo s těmito uživateli počítáno. Zlomem v přístupu byla hloubená stanice Skalka na trase A. Tady se poprvé objevily pohybově postiženým přístupné a užitelné WC, přístupný podchod a snahou projektantů bylo v rámci možností zajistit i přístup na nástupiště tím, že výtah (zatím však, žel, jen nákladní, který potřebuje školenou obsluhu) se co nejvíce přiblížil veřejnému nástupišti. Úplně bezbariérovou se pro pohybově postižené stala až trasa V,B se stanicemi Hůrka, Luka, Lužiny, Stodůlky a Zličín. Zde byly poprvé pro přístup do stanic použity osobní výtahy, které spojují povrch s nástupištěm. Zcela bezbariérová je i trasa, která po trase V,B následovala, a to IV,B se stanicemi Vysočanská, Hloubětín, Rajska zahrada, Černý most a v současné době dokončovanou stanicí Kolbenova (dříve ČKD).

Zůstala však otázka, co s bezbariérovou přístupností již dříve realizovaných stanic? Do některých stanic byl ve spolupráci Metroprojektu, Dopravního podniku a Inženýringu dopravních staveb dodatečně navržen a realizován osobní výtah. Jde například o stanice Muzeum na trase C, Dejvická na trase A. Stejně tak jsou průběžně při rekonstrukcích upravovány veřejné WC v podchodech a vestibulech. V letošním roce se předpokládá výměna nákladního výtahu za osobonákladní na stanici Pankrác a Skalka. Dopravní podnik provizorně řeší přístup osob na vozíku pro invalidy do stanic metra tím, že lze s doprovodem využívat i nákladní výtahy, řešení však přináší mnoho technickoorganizačních problémů a je skutečně jen provizorium.

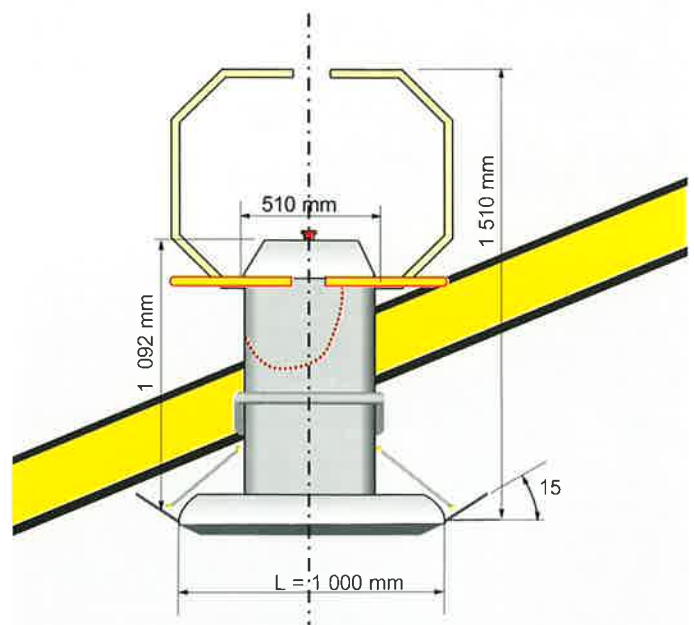
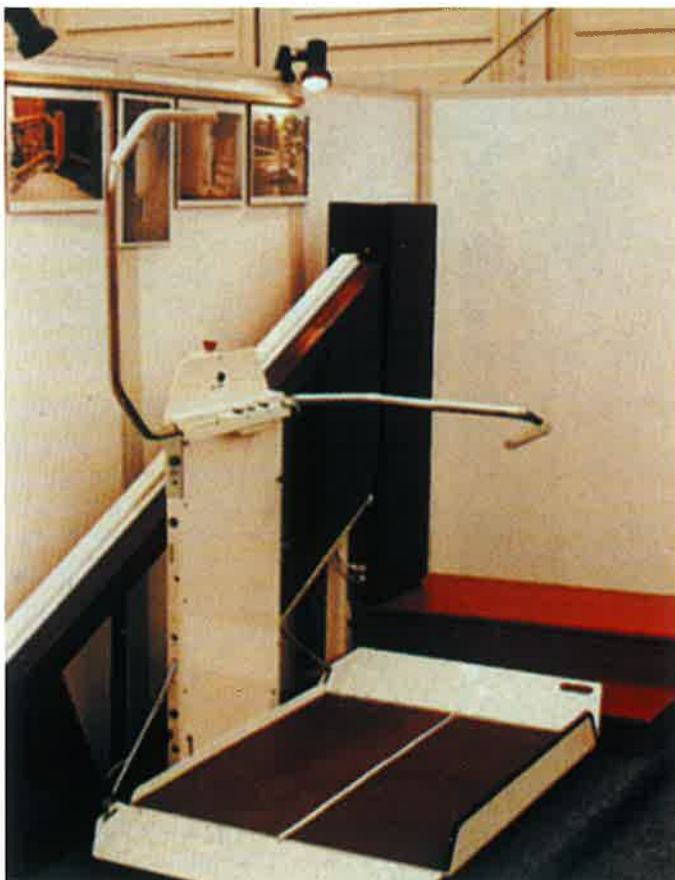
Snaha Dopravního podniku o systémové řešení vedla k zadání studie bezbariérové přístupnosti provozovaných stanic metra. Studii zpracoval Metroprojekt a za zmínku v ní stojí především nový prvek, který by (pokud se v praxi osvědčí) mohl zpřístupnit mělce založené stanice metra. Jde o šikmou schodišтовую plošinu nové generace (s konstrukčními a bezpečnostními parametry fakticky odpovídajícími výtahům)

with impaired hearing are again different. Demands and needs of the first two groups prevail among the transportation issues. The needs of persons with impaired hearing for modification of the environment and the means of transport are minimal, mostly because our civilization is significantly visually oriented. Therefore also this article, which will be dealing with modifications and such a design of underground structures, especially transport-related ones, which make them accessible to everyone, including the disabled, will take into consideration the aforementioned specifics of the individual forms of disabilities.

Which underground structures are to be mentioned? Before all it is the spinal traffic mode in large cities, subway and other underground structures, which ensure collision-free movement, especially of pedestrians, i.e. underpasses. Although, these represent a situation similar to that one we are familiar with at the subway, i.e. underground vestibules and station exits.

At the beginning, we will look at the problem of persons with impaired mobility. As for them, it is most important to get over the elevation differences in accesses into all public sections of the subway. The main designed concept of the Prague subway did not, in its beginning, count with the passengers with impaired mobility, especially with wheelchair users. The access into subway stations, including underpasses and vestibules, was ensured solely by solid staircases and escalators. Even concerning the changing rooms in the subway, these users were not taken into consideration. The cut-and-cover station Skalka on the A line was a breakthrough. Usable, and for persons with impaired mobility accessible, toilets and an accessible underpass appeared here for the first time. It was also the effort of designers to provide, within the given limits of possibilities, even an access to the platform. Therefore, the elevator (unfortunately, it was a freight one only, which needed trained operator) got to the public platform as close as possible. The V, B line section with stations Hůrka, Luka, Lužiny, Stodůlky and Zličín was finally the one to become absolutely barrier-free for the passengers with impaired mobility. Here, personal elevators, which connect platforms with the surface, have been used for access to the station for the first time. The VI, B line section, which followed after V, B, with the stations Vysočanská, Hloubětín, Rajska Zahrada, Černý Most and, currently before completion, Kolbenova (former ČKD), is also completely barrier-free.

However, the question of barrier-free accessibility of the previously realized stations has remained. Within some stations, under the cooperation of Metroprojekt, the Transportation Company and Engineering of the transport-related structures, a personal elevator was designed and realized subsequently. For instance this concerns the stations Muzeum on the C line or Dejvická on the A line. In the same way, public toilets in underpasses and vestibules are rebuilt on the occasions of reconstruction. As for this year, the replacement of freight elevators at the stations Pankrác and Skalka with per-



Obr. č. 1. a 2 Šikmá schodišťová plošina
Fig. 1 and 2 Inclined staircase platform

pojižděnou po samostatné, oddělené dráze. Tato plošina včetně dráhy by byla instalována buď na pevném schodišti, či v prostoru vzniklém při prováděné výměně krátkých (do 7 m dopravní výšky) eskalátorů za eskalátory nové generace. Fotografie plošiny a základní rozměry jsou na obrázku č. 1 a 2.

Zcela jiná situace je ve zpřístupnění metra pro zrakově postižené. Zatímco řešení přístupnosti pro pohybově postižené se mohlo opírat o obecně známé prvky, pro nevidomé bylo nutné mnohé řešit od začátku, a to proto, že v jiných zemích není tato záležitost systémově a systematicky řešena. To se týká především akustického vedení a informací včetně jejich dálkového ovládání.

Akustické vedení a informace včetně dálkového ovládání představují systémový a systematický otevřený celek řešící přístupnost a užívání staveb (především dopravních) i dopravních prostředků. Schéma akustického vedení a řešení akustických informací je na obrázcích č. 3 a 4.

Zatímco přístupnost a užívání podzemních staveb pro pohybově postižené znamená především překonávání fyzických bariér, problémem nevidomých a slabozrakých v těchto stavbách je především jednoznačná orientace s dostatečným množstvím informací získávaných především kontaktním způsobem, a to technikou dlouhé bílé hole. Doplnkové, ale přesto velmi důležité, jsou i informace akustické.

Podrobněji se nejprve budeme věnovat hmatným prvkům zajišťujícím přístupnost a užívání metra zrakově postiženým. Mimořádně důležitá je bezpečnost těchto uživatelů na nástupišti, zejména na jeho hraně. Proto již na trase V,B je Metroprojektem navržen hmatný pruh oddělující bezpečnostní pás od ostatních částí nástupiště a na této trase se také objevují v dlažbě vybroušené vodící linie, které propojují nástupiště s vestibulem či bezprostředním okolím stanice. Uvedená opatření se stala již standardem, a proto je lze nalézt i na stanicích trasy IV,B. Zde je dobré připomenout, že vybroušené vodící linie pro nevidomé jsou mimořádným opatřením, a proto je lze nalézt jen na vybraných stanicích metra, nikoli obecně. Tento prvek byl dodatečně realizován i na provozovaných stanicích. Na prvních, přestupních stanicích Muzeum a Florenc C, byl Metroprojektem sponzorován jejich návrh a sponzorský byla řešena i realizace. Na dalších provozovaných stanicích (Dejvická, I. P. Pavlova, Palmovka) je toto opatření běžnou součástí plánovaných rekonstrukcí a úprav. Novým prvkem na metru, který řeší dostatečnou hmatnost a vizuální kontrast

sonal/freight ones is expected. The Transportation Company solves the access of wheelchair users into subway stations provisionally by allowing a use of some freight elevators by persons attending the disabled. This solution, however, brings many technical-organizational problems and thus is really temporary only.

The effort of Transportation Company for a system solution has led to ordering a study of barrier-free accessibility of operating subway stations. The study was elaborated by Metroprojekt, and especially one element, which would (if proved competent in practice) make the shallowly located subway stations accessible, is worth mentioning. And thus inclined staircase platform of new generation (with structural and safety parameters practically corresponding to elevators), moving along independent, separated track. This platform, including the track, would be installed either on the solid staircase or in the area, originating as a result of replacement of short, i.e. up to 7 m of transportation height, escalators with escalators of new generation. Photo of the platform and its basic measures are in fig. 1 and 2.

Absolutely different situation prevails in accessibility of the subway for visually impaired passengers. While the solution of accessibility for passengers with impaired mobility could rely on generally known elements, for the visually impaired passengers it was necessary to solve the issue from the very beginning because other countries have not solved it as a system or in a systematic way. This concerns especially acoustic guidance and information, including their remote control.

Acoustic guidance and information, including their remote control, represent a system and systematic opened complex, solving the accessibility and usage of structures (mostly transportation ones) and means of transport. The scheme of acoustic guidance and solution of acoustic information is in fig. 3 and 4.

While the accessibility and usage of underground structures mostly means for passengers with impaired mobility the possibility of surpassing physical barriers, problem of the visually impaired passengers is mostly an explicit orientation with sufficient amount of information, mostly acquired by means of a physical contact, using the technique of a long white stick. The acoustic information is additional, but still of great importance.

Firstly into detail, we will turn to tactile elements ensuring accessibility and usage of subway for the visually impaired. Security of these users on the

1 - Vysílačka kapesní provedení
1 - Pocket transiever

6 - Akustická hlášení vozidla
6 - Acustical show on the car

2 - Vysílačka v držadle slepecké hole
2 - Pocket transevier of handle of blind's bar

7 - Řídicí počítač vozidla
7 - Computer on the car board

3 - Přijímač na objektu
3 - Reciever on object

4 - Akustický majáček naváděcí
4 - Acusocket transevier

5 - Přijímač na vozidle
5 - Reciever on car

1 - Vysílačka kapesní provedení
1 - Pocket transiever

6 - Akustická hlášení vozidla
6 - Acustical show on the car

2 - Vysílačka v držadle slepecké hole
2 - Pocket transevier of handle of blind's bar

7 - Řídicí počítač vozidla
7 - Computer on the car board

3 - Přijímač na objektu
3 - Reciever on object

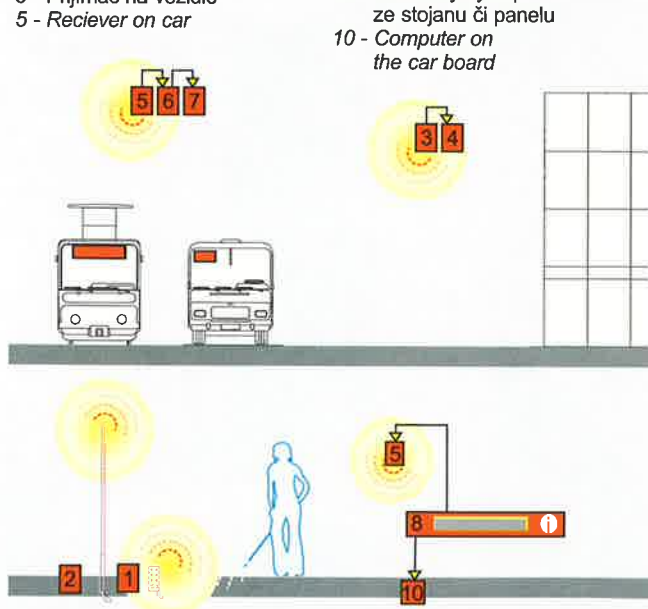
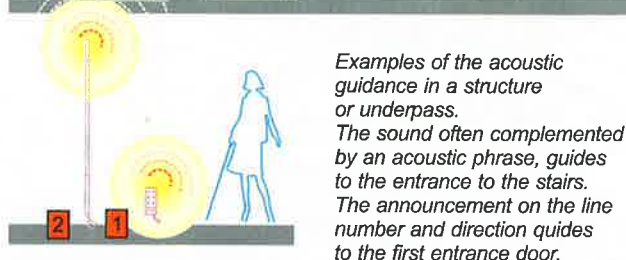
8 - Vizuální informační panel či stojan
8 - Visuala information

4 - Akustický majáček z hlasovou frázi
4 - Acustical light with voice phrasis

9 - Přijímač v informačním panelu či stojanu
9 - Visuala information

5 - Přijímač na vozidle
5 - Reciever on car

10 - Akustický výstup ze stojanu či panelu
10 - Computer on the car board



Obr. 3 a 4 Akustické vedení a akustická informace, základní schémata
Fig. 3 and 4 Acoustic guidance and acoustic information, basic schemes

pruhu oddělujícího bezpečnostní pás od nástupiště, je Metroprojektem a firmou Coming vyvinutý hmatný prvek z umělého kamene. Toto nové řešení při hraně nástupiště je dlouhodobě zkoušeno na stanici metra Malostranská, obrázek č. 5 a 6.

Drobným, ale přesto důležitým, prvkem je hmatné vyznačení překážek v metru, jako příklad je zde zobrazeno hmatné vyznačení informačních stojanů na stanici metra Vysočanská na trase B, obrázek č. 7.

Akustické vedení a informace ve stavebách, zejména dopravních, zajišťují dálkově ovládané majáčky, které mají některý z vyhrazených tónů, často doplněný o hlasovou frázi. Příkladem takovýchto majáčků jsou dvouvrázkové majáčky u vstupní prosklené stěny do metra.

Zcela ojedinělým prvkem, který byl realizován ve spolupráci Metroprojektu a Sjednocené organizace nevidomých a slabozrakých, je akustická, dálkově spouštěná informace o chodu eskalátorů, obr. č. 8. Dnes je výše zmíněné opatření běžně realizováno na rekonstruovaných stanicích metra anebo při výměnách eskalátorů. Informace z řídicí jednotky eskalátorů (SAIA) jsou přes interface převedeny do příslušné hlasové fráze majáčku.

Trvalou spoluprací Metroprojektu, Dopravního podniku – odštěpný závod Metro a Sjednocené organizace nevidomých a slabozrakých je systém akustického vedení a informací v podzemní stavbě – metru dále rozvíjen a rozšiřován.

Pro zlepšení podmínek pro užívání páteřního dopravního systému – metra s převážně podzemními stanicemi byl pro sluchově postižené navržen a realizován víceúčelový informační panel při vstupu do metra, který opticky informuje zejména o mimořádných provozních stavech a situacích.

V závěru chceme ještě upozornit na některé souvislosti důležité pro užívání a přístupnost podzemních staveb (zejména staveb s dopravní funkcí) zdravotně postiženými.

Jde především o řešení povrchových staveb včetně komunikací, ploch a staveb povrchové hromadné dopravy tak, aby mohly sloužit i osobám s omezenou schopností pohybu a orientace. Pro pohybově postižené jsou důležité především úpravy přechodů a nástupních ostrůvků povrchové dopravy, obrázek č. 9.

Nevidomým a slabozrakým pomáhají na výše zmíněných stavbách zejména hmatné úpravy a prvky, obrázek č. 10, a akustická signalizace na přechodech. I v této oblasti trvale Metroprojekt spolupracuje s občanskými sdruženími i jinými institucemi, které se danou problematikou zabývají.



Obr. 5 a 6 Nové řešení hmatného pruhu oddělujícího bezpečnostní pás na metru

Fig. 5 and 6 New solution of the tangible trail, separating the security zone in subway

platform, and especially by the edge, is of extraordinary importance. Therefore already within the V. B line section, a tactile strips separating the safety zone from the other parts of platform, is designed by Metroprojekt. Also within this line section, guidance trails (grooves) cut into the pavement by grinding appear, that connect the platform with the ticket hall or immediate neighborhood of the station. These measures have already become standard and therefore it is possible to find them even at the IV. B line section. Here it is convenient to mention that the cut guidance strips for the visually impaired are an extraordinary measure and therefore it is possible to find those only at selected subway stations, not universally. This element has been additionally realized also at the stations already in operation. At first of those, transfer stations Muzeum "C" and Florenc "C", Metroprojekt sponsored their design as well as realization. At other operating stations, (Dejvická, I.P. Pavlova, Palmovka), this measure is a common part of planned reconstructions and adjustments. A tactile element from artificial stone, developed by Metroprojekt and the Coming company, is a new element in subway which solves sufficient tactility and visual contrast of the trail that separates the safety zone from the platform. This new solution by grooves along the platform edge is going through long-term testing at the Malostranská station, fig. 5 and 6.

Tangible signaling of obstacles in subway is a minor, but still important element; tangible signaling of information stands at the Vysočanská station on the B line, fig. 7, is here illustrated as an example.

Acoustic guidance information in structures, especially transportation ones, is ensured by remotely controlled beacons, which have one of the designated tones, often complemented with a voice phrase. Examples of such beacons are double-phrase beacons on glazed walls at entrances into the subway.

Acoustic, remotely activated information about the operation of escalators, fig. 8, is a very unique element, which was realized by Metroprojekt in cooperation with the Czech Blind United of the sightless and purblind. By today, the aforementioned measure is commonly realized at reconstructed subway stations or on replacements of escalators. Information from the escalators controlling unit (SAIA) is transferred through the interface into the corresponding voice phrase of the beacon.

System of acoustic guidance and information within the subway is being further developed and extended, and thus under permanent cooperation of Metroprojekt, the Transportation company - division Subway and the Czech Blind United of the sightless and purblind.

In order to improve conditions for usage of the spinal transportation system - the subway with predominantly underground stations for passengers with impaired hearing, a multi-purpose information panel by the subway entrances, which optically informs especially of extraordinary operation conditions and situations, has been designed and realized.

In the conclusion, we still want to mention certain coherences, important for usage and accessibility of underground structures (especially those with a function of transportation) by the disabled.

It before all concerns solutions of surface structures, including roads, paved areas and structures of the surface mass transportation, so that they can serve even to persons with limited mobility and orientation ability. Modifications to overpasses and surface traffic islands, fig. 9, are especially important to people with impaired mobility.

Within the aforementioned structures, especially tangible modifications and elements, fig. 10, and acoustic signaling at road crossings assist to the sightless and purblind. Also in this field, Metroprojekt permanently cooperates with civic associations as well as other institutions, which deal with the given problems.

Correct design of the means of transport is also an integral part of accessibility of public transportation in both underground and surface transporta-



Obr. 7 Hmatné vyznačení informačního stojanu na nástupišti metra
Fig. 7 Tangible signaling of the information stand at subway platform



Obr. 8 Akustický majáček signalizující chod eskalátorů
Fig. 8 Acoustic beacon signaling a running escalator



Obr. 9 Dodatečně prováděné bezbariérové úpravy na přechodu pro chodce
Fig. 9 Additionally performed barrier-free modifications of pedestrian overpasses



Obr. 10 Hmatné úpravy a řešení akustické signalizace na přechodu pro chodce
Fig. 10 Tactile modifications and solutions of the acoustic signaling at the road cross-walks



Obr. 11 a 12 Řídicí jednotka vozidla a akustické hlášení vně vozidla ovládané nevidomým
Fig. 11 and 12 Vehicle controlling unit, acoustic signaling outside of the vehicle, controlled by the sightless

Nedílnou součástí přístupnosti veřejné dopravy v podzemních i povrchových dopravních stavbách pro zdravotně postižené je i správné řešení dopravních prostředků. Zmiňujeme zde především ojedinělý systém akustických, dálkově ovládaných informací a samostatného nástupu do vozidel s tlačítkovým ovládním otevírání a zavírání dveří realizovaný na vozidlech městské hromadné dopravy v Praze, Ústí nad Labem, Českých Budějovicích, Brně. V přípravné fázi je zavedení tohoto systému i v jiných městech. Spolupráce při zavádění uvedeného systému je další aktivitou Metroprojektu při práci pro zdravotně postižené. Zařízení a jeho instalace na vozidlech městské dopravy je na obrázku č. 12 a 13.

Pro vlaky metra není tento systém ve své základní podobě využitelný, ve spolupráci Metroprojekt, DP – Metro a SONS je rozpracována modifikace, která umožní samostatný nástup a výstup nevidomých v nových vlacích metra, které budou tlačítkové ovládním dveří mít.

tion structures for the disabled. Here we mention especially the unique system of acoustic, remotely controlled information and independent getting into vehicles with button control of opening and closing doors, realized at vehicles of urban mass transportation in Prague, Ústí u/ Labe, Czech Budweis and Brno. Implementation of this system in other cities is currently in the phase of preparation. Cooperation in implementation of the mentioned system is another Metroprojekt's activity in the work for the disabled. The device and its installation at vehicles of city transportation are in fig. 11 and 12.

As for the subway trains, this system in its basic form is not usable; in cooperation of Metroprojekt, TC - Subway and CBU, a modification is currently being designed, which would allow the visually impaired passengers to get on and off the new subway trains that would already be equipped with the door button control.

POHYBLIVÉ SCHODY A VÝTAHY – VÝZNAMNÁ ZAŘÍZENÍ PODZEMNÍCH STAVEB

ESCALATORS AND ELEVATORS – IMPORTANT EQUIPMENT OF UNDERGROUND STRUCTURES

JAROSLAV VIEULZOEUF, METROPROJEKT Praha, a. s.

Prakticky žádná moderní podzemní stavba, která se nachází pod úrovní terénu, se neobejde bez zařízení, které zajišťuje její rychlé a kapacitní spojení s povrchem. Význam těchto zařízení je zcela prvofadý u staveb, které slouží k přepravě velkého množství osob, tedy především staveb městské hromadné dopravy – podzemních tramvají, železnic, rychlodrah a metra. Na příkladu pražského metra je možné nejlépe ilustrovat tuto problematiku v celé její šíři. Metro je tvořeno systémem traťových úseků a stanic, převážně realizovaných z traťových a staničních tunelů. Podle zkušeností (ze zahraničí) bylo i u nás rozhodnuto instalovat pohyblivé schody pro výstup pasantů při rozdílu výšek od 5 metrů a pro sestup pasantů při rozdílu výšek od 7 metrů. Jsou ale i výjimky. Na příklad ve stanici Karlovo náměstí jsou v přístupových chodbách k nástupišti nainstalovány z kapacitních důvodů dvě trojice pohyblivých schodů na dopravní výšku $H=3,8$ metru, což jsou nejkratší pohyblivé schody na pražském metru.

Rozšiřování tras metra vyvolalo jejich mimoúrovňové křížení. Dosud převážně hloubené nebo povrchové stanice bylo nutné nahradit stanicemi raženými.

K zajištění kapacitní přepravy pasantů do hlouběji založených stanic jsou realizovány opět tunely, a to pro instalaci pohyblivých schodů – eskalátorové tunely. V naprosté většině jsou eskalátorové tunely osazeny 3 kusy pohyblivých schodů. Výjimku tvoří přestupní eskalátory ve stanici FLORENC a ve stanici MUZEUM, kde jsou instalovány čtveřice pohyblivých schodů.

Eskalátorové tunely jsou funkčně, ale i fakticky podélně rozděleny mezipodlahou. Horní část tvoří prostor pro pohyblivé schody a prostor pro cestující. V dolní části eskalátorového tunelu jsou vedeny kabelové a trubní sítě. Horní část eskalátorového tunelu končí strojnou pohyblivých schodů. Dolní část eskalátorového tunelu končí napídací stanicí pohyblivých schodů.

Podle charakteru umístění se pohyblivé schody dělí na staniční a podchodové.

Staniční pohyblivé schody tvoří převážně jediné vertikální spojení mezi nástupištem a vestibulem (úrovní uliční).

Podchodové pohyblivé schody převážně spojují úroveň vestibulu (podchodu) s úrovní uliční.

Dále jsou odborníky orientačně pohyblivé schody ještě označovány jako "dlouhé" a "krátké". Názvy jsou odvozeny od dopravních výšek, které pohyblivé schody mají překonávat. Za "krátké" jsou považovány pohyblivé schody pro dopravní výšky do 15 metrů. Za "dlouhé" potom pohyblivé schody pro dopravní výšky nad 15 metrů. "Dlouhé" pohyblivé schody jsou převážně staniční pohyblivé schody. "Krátké" pohyblivé schody jsou podchodové, ale i staniční pro dopravní výšky do 15 metrů. Podchodové pohyblivé schody jsou převážně instalovány souběžně s pevným schodištěm.

Do 90. let bylo pražské metru osazováno výhradně dvěma typy pohyblivých schodů. Pro dopravní výšky do 15 metrů to byly pohyblivé schody od výrobce TRANSPORTA (ČSSR) – PSTN, PSTV, což značí kód pro pohyblivé schody těžké normální, a těžké venkovní. Venkovní provedení je s elektrickým vytápěním schodového pásma a ohřevem oleje v převodovce pohyblivých schodů. U pohyblivých schodů PSTN a PSTV je ocelová konstrukce samonosná, u dopravních výšek do 7 metrů bez mezilehlé podpory. Pohyblivé schody PSTN a PSTV pro dopravní výšky 7 – 15 metrů tvoří ocelová konstrukce s mezilehlou podporou.

Pro překonání dopravních výšek 15,2 metrů a více byly instalovány pohyblivé schody z SSSR – výrobce Kotljakovo. Na pražském metru byly instalovány celkem 4 typy pohyblivých schodů z SSSR. Byly to:

- LT 3 pro dopravní výšky $H = 25,2\text{m} - 45\text{m}$
- LT 4 pro dopravní výšky $H = 15,2\text{m} - 25\text{m}$
- ET 3 pro dopravní výšky $H = 30,2\text{m} - 45\text{m}$
- ET 4-P pro dopravní výšky $H = 15,2\text{m} - 30\text{m}$

Typy pohyblivých schodů LT 3 a LT 4 byly instalovány na 1. provozním úseku trasy metra A. Typy pohyblivých schodů ET 3 a ET 4-P byly částečně modernizovány a instalovány byly od 2. provozního úseku trasy metra A.

I přes částečnou inovaci si některé handicapy pohyblivé schody podržely. Na příklad výpíné balustrády byly i nadále z překližky, což bylo kritizováno z hlediska architektury, ale také, a to hlavně, z hlediska zajištění požární ochrany.

Začátkem 90 let se začalo uvažovat o postupné rekonstrukci – výměně pohyblivých schodů a to hlavně pohyblivých schodů typu LT 3 a LT 4 ve stanicích 1. provozního úseku trasy A. Hlavním motivem bylo zajištění bezpečnosti cestujících na těchto pohyblivých schodech.

Realizace výměny pohyblivých schodů byla od začátku technickým problémem. Původní filozofii na údržbu pohyblivých schodů (LT 3 a LT 4) byly jako nejvyšší stupeň generální opravy, to znamená všechno na pohyblivých schodech vyměnit mimo ocelové konstrukce, ty měly zůstat nainstalované. Proto po první montáži pohyblivých schodů LT nebyl ve stavební části ponechán montážní (demontážní) otvor. Přesto bylo rozhodnuto a dnes se

Practically no modern underground structure which is found under the ground surface can exist without equipment which ensures a fast connection with the surface level with sufficient capacity. The importance of this equipment is paramount for structures which serve the transport of a large quantum of persons, the structures for mass traffic above all, i.e. underground trams, railroads, expressways and metro. This issue can be best illustrated in all its width on the example of the Prague Metro.

The Metro is formed by a system of track sections and stations, mostly consisting of running and station tunnels. Based on experience (foreign), it was decided even for our conditions to install escalators for ascent of passengers from the underground if the difference in levels is over 5m, and for their descent if the difference in the levels is over 7m. Although, exceptions exist. For example, at the Karlovo Namesti station, two triplets of escalators are installed in access galleries to the platform with a transporting height $H=3.8\text{m}$. They are the shortest escalators of the Prague Metro.

Extensions of the metro lines brought about a necessity of grade-separated junctions. The till that time cut-and-cover or at-grade stations had to be replaced by driven stations.

To provide a sufficient capacity for transportation of passengers into the deeper founded stations, another tunnels are built, serving for installation of escalators, i.e. escalator tunnels. Overwhelming majority of the escalator tunnels is equipped with 3 sets of escalators. The FLORENC and MUZEUM stations are an exception with the sets of four escalators installed.

Escalator tunnels are functionally, but also physically, divided longitudinally by an intermediate floor. The upper part creates the space for the escalator and the space for passengers. In the lower part of the escalator tunnel, there are cable and piping services installed. The upper part of the escalator tunnel terminates in an escalator plant room. The lower part of the escalator tunnel terminates in an escalator tensioning station.

We distinguish station and underpass escalators, depending on their character, i.e. the location.

Station escalators create generally a single vertical connection between a platform and a ticket hall (street level).

Underpass escalators mostly connect a ticket hall (underpass) with a street level.

In addition, professionals distinguish "long" and "short" escalators for the purpose of orientation. These names are derived from the transportation heights, which are to be overcome by escalators. "Short" escalators are the escalators designed for a transportation height up to 15m. Escalators for a transportation height over 15m are considered as the "long" ones. The "long" escalators are mostly the station escalators. The "short" escalators are both underpass and station escalators for the transportation height up to 15m. Underpass escalators are mainly installed in parallel with a fixed staircase.

Till the nineties, only two types of escalators were installed in the Prague metro. For the transportation height up to 15m, they were escalators manufactured by TRANSPORTA (the CSSR), of the SHE and EHE types, which are the codes for standard heavy-duty and external heavy-duty escalators. The external version has an electrical heating of the staircase zone and heating of oil in the escalator's transmission. The steel frame structure of the SHE and EHE escalators is self-supporting, for transportation heights up to 7m it has no intermediate support. The SHE and EHE escalators for the transportation height from 7 to 15m, the steel structure has an intermediate support.

Escalators from the USSR manufactured by the Kotljakovo company were installed to overcome the transportation heights of 15.2m and higher. In total, following 4 types of escalators from the USSR were installed on the Prague metro:

- LT 3 for the transportation heights $H = 25.2\text{m} - 45\text{m}$
- LT 4 for the transportation heights $H = 15.2\text{m} - 25\text{m}$
- ET 3 for the transportation heights $H = 30.2\text{m} - 45\text{m}$
- ET 4-P for transportation heights $H = 15.2\text{m} - 30\text{m}$

The LT 3 and LT 4 types were installed on the 1st operational section of the metro line A. The ET 3 and ET 4P types of escalators were partially upgraded and installed starting from the 2nd operational section of the metro line A.

Despite the partial innovation, some handicaps of the escalators continued to exist. For example, the use of plywood for panels on parapets of escalators continued, which fact was criticized not only from the architectonic point of view, but also from the aspect of fire protection.

At the beginning of the nineties, a progressive refurbishment became a matter of consideration, consisting in replacement of escalators, primarily the LT 3 and LT 4 in the stations on the 1st operational section of the metro line A. The main motive was the safety of passengers on the escalators.

Realization of the replacement of escalators was a technical problem from the very beginning. The original philosophy regarding maintenance of escalators (LT 3 and LT 4) lied in overhauls, i.e. replacement of all parts of escalators with an exception of steel structures, which were to remain installed. For that reason no opening was left in the civil part for the assembly/dismantling. Despite this fact, it was decided, and it proves

ukazuje, že správně, stávající pohyblivé schody vyměnit totálně. Jediným možným způsobem bylo zavážení montážních dílů pohyblivých schodů na úroveň nástupišť, což vyžadovalo technické a rozměrové úpravy nových pohyblivých schodů, aby bylo možné montážní díly protáhnout mezi částečně odstrojenými sloupy ale i pilíři a následně zatáhnout do eskalátorového tunelu. Na základě těchto poznatků bylo vypsáno výběrové řízení na dodavatele pohyblivých schodů.

Jako první se realizovala výměna pohyblivých schodů ve stanici Mústek (trasa A) firmou THYSSEN, vítězem prvního výběrového řízení. Montáž provedla firma Transporta. Následovaly výměny dalších "dlouhých" ale i "krátkých" pohyblivých schodů. K dnešnímu dni jsou po provedených výměnách na trasách C a A pohyblivé schody od firem: THYSSEN, SCHINDLER, KONE, OTIS.

Zásadní odlišností pohyblivých schodů LT 3, LT 4 od dnešních pohyblivých schodů jsou v tom, že nové pohyblivé schody jsou uloženy na horním a dolním trámu a podle dopravní výšky mají 3 až 6 podpor v šikmé části. Pohonná jednotka je umístěna v horní části ocelové konstrukce pohyblivých schodů. Technologie údržby nových pohyblivých schodů nevyžaduje podélné uličky pro obsluhu. Proto je možné nové pohyblivé schody nainstalovat do eskalátorového tunelu tak, aby v šikmé části eskalátorového tunelu byly pro cestující bez problémů dodrženy podchůzí výšky dle ČSN EN 115.

Pohyblivé schody LT 3 a LT 4 po celé své délce "leží" na ocelových nosnících na mezpodlaze. Na podlaze ve strojovně jsou umístěny základny pro pohony pohyblivých schodů. Pro zajištění oprav a údržby musí být u pohyblivých schodů LT 3 LT 4 podélné uličky mezi ocelovou konstrukcí a ostěním eskalátorového tunelu a mezi pohyblivými schody navzájem, po celé jejich délce.

Obdobná situace s podélnými uličkami pro obsluhu a údržbu je i u pohyblivých schodů Transporta PSTN a PSTV. Zrušením těchto uliček, které bylo umožněno novou konstrukcí pohyblivých schodů, na příklad firma SCHINDLER ve stanici I. P. Pavlova dokázala do provozního prostoru po 3 kusech pohyblivých schodů Transporta – PSTN nainstalovat 4 ramena svých pohyblivých schodů, při dodržení šířky stupňů 1 000 mm, což značně zvýšilo přepravní kapacitu stanice.

Některé speciality v instalacích pohyblivých schodů na pražském metru a trochu statistiky

V současné době je na pražském metru nainstalováno 223 kusů pohyblivých schodů od 6 výrobců. Nejvyšší dopravní výšky mají pohyblivé schody ve stanici Náměstí Míru, a to 43,6 metru, to znamená délku jejich šikmé části 87,2 metru. Výměnu původních pohyblivých schodů LT 3 realizovala firma THYSSEN. Nejkratší dopravní výšku mají pohyblivé schody Transporta – PSTN ve stanici Karlovo náměstí 3,8 metru.

Ve stanici Náměstí Republiky, ve výstupu k Masarykovu nádraží je vytvořena kaskáda z trojic pohyblivých schodů ET 4-P a Transporta – PSTN. Pohonná jednotka pohyblivých schodů Transporta – PSTN je na úrovni mezpodesty. Bylo nutné zrealizovat speciální úpravy pro transport převodovky pod ocelovou konstrukcí pohyblivých schodů Transporta – PSTN, na úrovni nástupišť se zásahem do ostění eskalátorového tunelu.

Samostatnou pozornost si z hlediska pohyblivých schodů zaslouží stanice Florenc. Stanice je přestupní (trasy C – B). Pro zajištění plynulého pohybu cestující veřejnosti je ve stanici nainstalováno 19 ramen pohyblivých schodů. Na příklad "dlouhých" staničních pohyblivých schodů typu ET 4-P je ve stanici Florenc 10 kusů, což je o 1 rameno pohyblivých schodů více, než je celkový počet "dlouhých" pohyblivých schodů ve třech stanicích 2. provozního úseku trasy A dohromady.

Z technického hlediska je v této stanici ojedinělým řešením kaskáda ze dvou trojic pohyblivých schodů ET 4-P. Strojovna spodní trojice pohyblivých schodů je na úrovni mezpodesty, což je asi 19 metrů pod úrovní uliční.

Do strojovny spodní trojice pohyblivých schodů na úrovni mezpodesty bylo nutné přes provozní prostor horní trojice pohyblivých schodů zavést a osadit na základě 3 pohonné jednotky, každá o hmotnosti 23 tun. O naprostojí ojedinělým technickým řešením a z toho vyplývajícím způsobu montáže se s obdivem vyjadřovali i zástupci výrobce pohyblivých schodů, kteří montáž nerealizovali.

Výtahy

Pro zajištění technologie údržby a oprav zařízení metra byly podle dispozičního řešení instalovány do stanic metra výtahy. Jsou to nákladní výtahy, nosnost 2 000 kg, respektive 1000 kg – lanové, typy: SNV, NST, SV, ST a SGNV. S rozvojem sítě metra vzrůstal i požadavek na přístupnost metra pro osoby se sníženou pohyblivostí – vozíčkáře. Volba padla na výtahy. V první fázi byly pro přepravu vozíčkářů technicky upraveny nákladní výtahy, které svým dispozičním umístěním tvořily vertikální spojení mezi úrovní uliční a úrovní nástupišť. Takových bylo velice málo. V další etapě se doplnily do některých stanic osobní výtahy – nosnost 630 kg, nebo 1 000 kg. Na příklad ve stanicích Dejvická, Nádraží Holešovice, Hlavní nádraží.

Počínaje IV. provozním úsekem trasy B včetně jsou již řešeny vstupy (vertikální spojení) pro vozíčkáře instalací osobních výtahů. Splnění některých požadavků vyplývajících z normy ČSN EN 81 na bezpečnost cestujících si vzhledem k možnostem dispozičního řešení stanic vyžaduje individuální specifická řešení.

Podle ČSN EN 81 čl. 5.2.2.1.2 je maximální přípustná vzdálenost mezi prahy dvou nejbližších stanic výtahu 11 metrů. Ve stanici Kobylisy je tato vzdálenost 30 metrů. Je proto nutné vedle výtahové šachty zrealizovat ještě šachtu – lezní oddělení s mezpodestami, na které budou ústít nouzové výstupy.

Na nově projektovaných stanicích jsou navrhovány nejmodernější typy osobních výtahů bez strojovny.

today that correctly, to replace complete existing escalators. The only way possible was to transport prefabricated elements of the escalators to the platform level. This required technical and dimensional modifications to be done on new escalators, which were to enable the transport of the prefabricated elements between columns or pylons, and subsequently their transportation to the escalator tunnels. The cladding of the columns and pylons had to be removed partially. Based on this knowledge, a tender was called for the supply of the escalators.

First of all, the replacement of escalators in the Mustek station (line A) was performed by the THYSSEN company, who won the first tender. The assembly was carried out by the Transporta company. Replacement of other "long" and "short" escalators followed. Till now, escalators supplied by THYSSEN, SCHINDLER, KONE and OTIS are found on the lines C and A after replacement.

Basic differences of the LT 3 and LT 4 escalators from the current escalators consist in the fact that the new escalators are placed on the upper and lower beam, and, depending on the transportation height, they have 3 to 6 supports within the inclined section. The driving unit is located in the upper part of the steel structure of the escalators. The technique of maintenance of the new escalators does not require longitudinal service aisles for operators. This makes the installation of a new escalator into the escalator tunnel possible in such a manner, which removes troubles with keeping the clearance for passengers according to the CSN EN 115 standard at the inclined section of the escalator tunnel.

The LT 3 and LT 4 escalators "rest" within the whole length on steel beams at the intermediate floor. On the machine room floor, there are foundations for drives of individual escalators. Longitudinal service aisles between the steel structure and the tunnel lining, and between individual escalators, must be provided for performance of repairs and maintenance of the LT 3 and LT 4 escalators.

Similarly, the SHE and EHE escalators manufactured by Transporta also require the longitudinal service aisles. By means of cancellation of those aisles, which was made possible thanks to a new design of escalators, the SCHINDLER company, as an example, managed to install 4 flights of its escalators into the operational space where 3 flights of the Transporta – SHE escalators had been before, maintaining the width of steps of 1,000mm. This solution improved the conveying capacity significantly.

Several specialities in installations of escalators on the Prague Metro, and some statistics:

Currently, 223 pieces of escalators supplied by 6 manufacturers are operating in the Prague Metro network. The escalator in the Namesti Miru is the highest of them with its height of 43.6m, which means the length of its inclined section of 87.2m. The replacement of the original LT 3 escalator was carried out by THYSSEN. The lowest transportation height, 3.8m, has the Transporta – SHE escalator in the Karlovo Namesti station.

A cascade consisting of triple escalators ET 4-P and Transporta – SHE was built in the Namesti Republiky station, at the exit towards the Masaryk's Railway Station. The drive unit of the Transporta – SHE is located at the half-landing level.

It was necessary to perform special works for transportation of the transmission under the steel structure of the Transporta – SHE escalator to the platform level, with an impact on the escalator tunnel lining.

The Florenc station deserves a special attention regarding escalators. It is an interchange station (from line C to B). 19 flights of escalators were installed in the station to ensure a fluent flow of passengers. There are, for example, 10 pieces of the ET 4-P "long" station escalators in the station. This number is higher by one flight than the total number of the "long" escalators installed in three stations on the 2nd operational section of the line A.

From the technical point of view, this station features a unique solution consisting in a cascade of two triplets of the ET 4-P escalators. The machine room for the lower triplets is at the half-landing level, i.e. about 19 meters under the street level.

It was necessary to transport and mount on the foundations 3 drive units, weighing 23 tons each, into the machine room of the lower triplet of the escalators, which is at the half-landing level. The transport was carried out via the operational space of the upper triplet of the escalators. The totally unique technical solution, and the assembly process following from that solution, was appreciated even by representatives of the manufacturer of the escalators, who performed the assembly.

Elevators

For the purpose of maintenance and repairs of the metro equipment, there were installed elevators into metro stations, with their position depending on the layout of the particular stations. They are SNV, NST, SV, ST and SGNV-type geared freight elevators with bearing capacity of 2,000kg or 1,000kg. With the metro development, the requirement on access of disabled persons (wheel chairs) was increasing in intensity. Elevators were given the preference. In the first phase, the freight elevators which provided, thanks to their position within the layout, a vertical connection between the street level and platform level, were technically modified to be able to transport wheel chairs. Although, such the elevators were very rare.

In the other phase, passenger elevators with bearing capacity of 630kg or 1,000kg were added to some stations, e.g. to the Dejvicka, Nadrazi Holesovice, Hlavní Nadrazi stations.

Starting from the operational line IV.B (inclusive) the entrances (vertical connections) for wheel chairs are solved by installation of passenger elevators. Because of the possibilities given by the layout of stations, individual specific solutions must be adopted to meet some requirements on safety of passengers following from the CSN EN 81 standard.

The CSN EN 81, Cl. 5.2.2.1.2 stipulates that the maximum allowable distance between thresholds of two adjacent stations of elevators must be of 11m. This distance amounts to 30m at the Kobylisy station. For that reason it is necessary to build another shaft (a manway compartment) with half-landings, which the emergency exits will lead to.

State-of-the-art elevators without machine rooms will be designed for newly developed stations.



Obr. 1. Ilustrační foto – eskalátory v pražském metru
Fig. 1. Escalators of Prague metro

TECHNICKÉ ZAJÍMAVOSTI

TECHNICAL MATTERS OF INTEREST

TUNEL ORTSTEIL BRITZ V BERLÍNĚ – APLIKACE NOVÝCH TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ

THE ORTSTEIL BRITZ TUNNEL IN BERLIN - APPLICATION OF NEW TECHNICAL EQUIPMENT

V rámci seznamování se s rozsáhlým berlínským dopravně-telematickým projektem VMZ (Verkehrs Management Zentrale), který má za cíl sbírat a zpracovávat dopravní informace a různou formou je předávat cestující veřejnosti pro zlepšení mobility v Berlíně, byla poskytnuta možnost navštívit tunel Ortsteil Britz. Tunel byl otevřen v červenci minulého roku a jsou zde použita některá zajímavá zařízení, která dosud nebyla aplikována v České republice.

V samotném úvodu je nutné říci, že nás poněkud překvapilo sdělení, že v Berlíně je v provozu devět tunelů pozemních komunikací a je plánováno, nebo jsou ve stavbě, dalších sedm tunelů. Hloubený tunel Ortsteil Britz o délce 1,7 km je situován v jižní části Berlína u letiště Tempelhof na dálnici A100 s pokračováním na Drážďany. Hlavní důvody pro jeho výstavbu byly ekologické: ochrana obytných domů před hlukem a zplodinami. Počítá se i s parkem nad tunelem. Po dokončení celého úseku bude tunelem projíždět 136 000 vozidel za 24 hodin.

Tunelová trouba je 14,5 m široká a je tvořena třemi jízdními pruhy o šířce 3,5 m, dvěma 25 cm vodicími proužky, jedním nouzovým pruhem o šíři 1,5 m a dvěma nouzovými chodníky širokými 1,0 m. Stavební výška je 4,9 m a základní výška průjezdního průřezu je 4,5 m, takže do prostoru 40 cm jsou umístěny světelné signály pro jízdu v pruzích i směrové tabule. Je použita podélná ventilace s odsáváním znečištěného vzduchu u portálu a jeho vyfukování větracími komíny u portálů. Pro Jet – ventilátory (4 řady po 6 ventilátorech) je ve stropě vytvořen aerodynamicky tvarovaný prostor. Stavební bezpečnostní úpravy tvoří vždy dva zálivy s možností nouzového úniku do prostoru nad tunel a pět spojok s druhou tunelovou troubou. SOS skříně jsou vzdáleny 350 m.

Dopravně technický koncept návrhu vycházel z psychologických aspektů řidiče, blízkého se a projíždějícího tunelem. Velký důraz byl kladen i na intuitivní složku vedení vozidla v dané trase. Cíle tohoto konceptu jsou:

- bezpečné vedení řidiče v dostatečném odstupu před tunelem;
- harmonizace dopravního proudu již před tunelem;
- poskytování potřebných informací k momentální situaci;
- rychlé reakce systému na jakékoli změny dopravy, výskyt kongescí a nehod;
- zamezení nehod při přesměrování dopravy.

1.1. VEDENÍ VOZIDEL A HARMONIZACE DOPRAVNÍHO PROUDU

Již v dostatečném předstihu, před vjezdem do tunelu, je řidič veden prostřednictvím signálů pro jízdu v pruzích – zelenou šipkou S5b, přičemž platí zásada, že vzdálenost mezi těmito signály je taková, aby byl vždy vidět nejméně jeden. Další zásadou je, že proměnné dopravní značky omezující rychlost B20a "Nejvyšší dovolená rychlost" jsou doplněny výstražnými a zákazovými značkami se světlovodnou technikou. Důvodem je psychologické hledisko působení této dodatkové informace na řidiče. Výzkumy prokázaly, že řidiči podstatně lépe akceptují omezení rychlosti, když je doplněno výstražnou. Na obr. 1 je příklad zákazové značky "80" doplněné výstražnou značkou A9 "Provoz v obou směrech".

1.2. PŘESMĚROVÁNÍ DOPRAVY

Přesměrování dopravy je nutné například při údržbových pracích nebo v případě nehody. Při projektování tunelu se uplatnila zásada, že k přesměrování dochází zásadně před tunelem, a to zařízeními, která bezpečně navádějí vozidla do protisměrného provozu. V tunelu je řidič veden již pouze v přímém směru pomocí zelených šipek (S5b) a je upozorňován na provoz v opačném směru červeným křížkem (S5a) nad pruhy s tímto provozem.

Pro vedení vozidel při přesměrování jsou použity dvě ocelové bariéry, každá o délce 50 m – obr. 2. Tyto segmenty jsou ovládány řídicím systémem tak, že se při přesměrování dopravy nejprve hydraulicky nadzvednou a poté posunou do požadované polohy. Pro lepší směřování vozidel jsou aktivována i žlutá záblesková svítidla.

Bariéry v klidovém stavu oddělují oba dopravní proudy a jsou tedy umístěny mezi nimi. V případě nutnosti přesměrování dopravy jsou přemístěny do polohy naznačené na obr. 3.

Samotné bariéry nemohou usměrňovat dopravu do jízdních pruhů proto, že pouze mění směr jízdy. Pro zachování bezpečnosti je zde použit zcela nový princip navádění vozidel do jízdních pruhů založený na aktivních značkových knoflíčích (kočičí oči). Jedná se o velmi moderní prvek určený pro řízení dopravy na dálnicích, v tunelech nebo před tunely. Technologicky to jsou do vozovky zapuštěné elementy emitující světlo. Jsou aktivovány řídicím systémem v případě, že před portály dochází ke změně směru jízdy. Kovová část se zabudovanými diodami emitujícími světlo (LED) vyčnívá pouze asi 10 mm nad povrch vozovky (obr. 5), takže údržba komunikace nečiní obtíže. Mechanické provedení je takové, že je vyloučeno poškození projíždějícími vozidly nebo údržbovými mechanismy. Liniové segmenty těchto elementů jsou řízeny řídicím systémem tunelu. Ukázka využití pro obložení z prvního

The opportunity of visiting the Ortsteil Britz tunnel was granted as a part of the process of getting acquainted with the VMZ (Verkehrs Management Zentrale), an extensive project of road telematics applied in Berlin. The project's objective is to collect and process traffic information and to provide it for the travelling public, with the aim of improvement in mobility in Berlin. The tunnel was inaugurated in July last year. Some interesting equipment were used there, which have not been applied in the Czech Republic yet.

It is necessary to state at the very beginning that we were a little bit surprised by an information that there are nine operating road tunnels in Berlin, and other seven tunnels were under planning or under construction. The cut-and-cover Ortsteil Britz tunnel is 1.7km long. It is located in a southern sector of Berlin, nearby the Tempelhof airport, on the A100 motorway continuing towards Dresden. Environmental reasons were the main reasons for its development, i.e. protection of residential buildings against noise and pollutants. A park is expected to be above the tunnel. After completion of the whole section, the tunnel will carry 136,000 vehicles per 24 hours.

The 14.5m wide tunnel tube contains three traffic lanes 3.5m wide, two 25cm wide edge lines, one 1.5m wide emergency stopping lane and two 1.0m wide emergency pavements. The headroom and the basic traffic clearance height are of 4.9m and 4.5m respectively. The 40cm high space is utilised for installation of traffic lights for driving in lanes, and direction signs. Axial ventilation is used with polluted air extracting at tunnel portals and exhausting via ventilation stacks at the portals. An aerodynamically shaped space for jet fans is created in the tunnel crown at 4 profiles (6 fans each). Structural safety measures consist in two emergency lay-bys in each tunnel, with a possibility to escape into a space above the tunnel, and five cross passages to the other tunnel tube. SOS boxes are at intervals of 350m.

The traffic and technical concept of the design was based on psychological aspects of a driver nearing to and passing through the tunnel. A significant emphasis was laid on the intuition component of keeping a vehicle moving within the given route. The concept is intended to ensure:

- A safe guidance for drivers at a sufficient distance from the tunnel;
- Harmonisation of the traffic flow already before the tunnel;
- Communication of enough information on momentary situation;
- Rapid reaction of the system to any changes in the traffic, occurrence of congestion and incidents;
- Prevention of incidents at switching of the traffic flow direction

1.1 VEHICLES GUIDANCE AND HARMONISATION OF THE TRAFFIC FLOW

In a sufficient advance, before entering the tunnel, a driver is guided by means of signals for driving in lanes, i.e. the S5b green arrow light. The rule is that such a distance between these lights is designed which allows the driver to see at least one light at any moment. Another rule is that the variable traffic signs limiting the speed, i.e. the B20a "Maximum permissible speed", are complemented by warning and prohibitory signs with light-conducting technology. The reason is the psychological effect of this additional information on drivers. It has been proved by research that drivers accept speed limitation much better if it is complemented by a warning. A prohibitory sign "80" complemented by a warning sign A9 "Two-way traffic" is shown in Fig. 1 as an example.

1.2 SWITCHING OF THE TRAFFIC FLOW DIRECTION

Switching of the traffic flow direction is necessary, for example, at maintenance operations or in case of an accident. A rule was applied when the tunnel design was developed that the changes are realised before the tunnel as a rule, by means of facilities, which guide vehicles safely into the contra-flow traffic. Then, inside the tunnel, the driver is guided in the straight direction only, by means of green arrows (S5b), and is warned of the traffic in the opposite direction by a red cross (S5a) above the lanes being operated in this manner.

Two steel barriers, each 12m long, are used for the guidance of vehicles during the switched flow direction operation, see Fig. 2. These segments are controlled by a control system. If the traffic flow direction is to be switched, the barriers are lifted first, and then shifted into the required position. In addition, for better guidance of vehicles, yellow flashing lights are activated. If the barriers are in a stand-by condition, they separate the two traffic streams, it means that they are located between them. If the switching of the

jízdního pruhu na dálnici je na obr. 4. Světelné charakteristiky by měly být takové, aby byla zaručena při denním světle viditelnost vyšší než 100 m.

V konkrétním příkladu tunelu Orsteil Britz je použito asi 90 elementů v odstupu tří metrů, které směřují dopravu do protisměru v úseku asi šedesáti metrů.

ZÁVĚR

Po podrobnější analýze tohoto moderního tunelu lze konstatovat, že naše nové tunely jsou vybaveny stejným technologickým standardem. Dokonce v otázce řídicího softwaru jsme dále, neboť nejnovější program KERBERUS® umožňuje úplnou simulaci dopravních stavů ještě předtím, než jsou aplikovány pro řízení dopravy v tunelu. Pohled do lokálního velínu tunelu je na obr. 6.

Rozdíli se spíše týká vybavení na příjezdech k tunelu, kde je v případě berlínského tunelu řidič v dostatečném předstihu informován a bezpečně navigován do správného směru, a to i prostřednictvím zařízení, která u nás dosud nebyla použita.

Doc. Ing. Pavel Příbyl, CSc.



Obr. 1 Dopravní značka omezující rychlost je doplněna výstražnou značkou
Fig. 1 A warning sign added to a speed limiting traffic sign



Obr. 2 Ocelové vodící bariéry v profilu New-Jersey
Fig. 2 Steel guiding barriers, the New-Jersey cross section



Obr. 4 Světlo emitující elementy vyznačující změnu směru jízdy na dálnici
Fig. 4 Light-emitting elements marking a change in the traffic flow on a motorway



Obr. 5 Kovové těleso s vyzářujícími otvory
Fig. 5 Steel body with emission holes

traffic flow direction is required, they are relocated into the position shown in Fig. 3.

Because they change the traffic flow direction only, the barriers themselves cannot guide the traffic into traffic lanes. To maintain the safety, a totally new principle of guiding vehicles into traffic lanes is used here, based on active marking buttons, catseyes. This is a very modern element for traffic control on motorways, in tunnels or before tunnels. These light emitting devices are embedded in the carriageway. They are activated by the control system when the traffic flow direction is changed before tunnel portals. Their steel part with built-in light-emitting diodes (LED) protrudes about 10cm above the road surface only, see Fig. 5, so that the road maintenance is not made more difficult. They are designed in such a way, which excludes a possibility of a damage by passing vehicles or maintenance equipment. Line segments of these elements are controlled by the tunnel control system. A demonstration of their utilisation for exiting from the first traffic lane of the motorway is shown in Fig. 4. Light characteristics should be maintained, at the day light, over 100m.

In the specific case of the Orsteil Britz tunnel, about 90 elements installed at three-meter spacing were used for guidance of traffic to the contra-flow, along a length of about sixty meters.

CONCLUSION

After a more detailed analysis of this state-of-the-art tunnel, it is possible to state that the equipment of our new tunnels is at the same technological standard level. Our control software is even better since the latest programme KERBERUS® makes a full simulation of traffic states possible even before their application on the tunnel traffic control. A view of a local tunnel control centre is in Fig. 6.

The difference is rather in accesses to the tunnel, where, in the case of the Berlin tunnel, the driver is informed in a sufficient advance and safely navigated to the correct direction. The equipment used has not been applied in our country yet.



Obr. 3 Klidová poloha bariér (obr. vlevo) a bariéry při změnách směru dopravy (obr. vpravo)

Fig. 3 Stand-by position of the barriers (on the left hand) and of the barrier at a state of a switched traffic flow direction (on the right hand)



Obr. 6 Lokální velín pro řízení tunelu Orsteil Britz
Fig. 6 Local control centre for the Orsteil Britz tunnel management

Z ČINNOSTI ODBORNÝCH SPOLEČNOSTÍ ZAJINTERESOVANÝCH DO PODZEMNÍCH STAVEB

ACTIVITIES OF PROFESSIONAL CORPORATIONS INTERESTED IN UNDERGROUND CONSTRUCTION

SEMINÁŘ: KLASIFIKACE ZEMIN A HORNIN

NAVRHOVÁNÍ GEOTECHNICKÝCH KONSTRUKCÍ NA ZÁKLADĚ LABORATORNÍCH A TERÉNNÍCH ZKOUŠEK

Česká silniční společnost ve spolupráci s SG-Geotechnika, a. s., a Českou asociací inženýrských geologů pořádala dne 28. 2. 2001 seminář k seznámení s novými evropskými geotechnickými normami.

Seminář byl určen především pro projektanty, pracovníky investorských a zhotovitelů organizací, inženýrské geology a geotechniky. Cílem byla především informace o dvou nových normách vypracovaných v rámci CEN, které byly již zavedeny do normalizační soustavy, a současně informovat o probíhající přípravě norem ISO, které do systému norem CEN budou začleněny.

CEN – Evropská komise pro novelizaci sdružuje 18 západoevropských zemí a ČR. Normy zde vytvářejí pracovní skupiny (WG). Jsou dávány do oběhu nejdříve jako přednormy s českým označením ČSN P ENV. Geotechnickou problematikou se zabývá technická komise TC 250, která zpracovala Eurokód 7 v českém označení ČSN P ENV 1997. Navrhování geotechnických konstrukcí v rozdělení:

Část 1: Obecná pravidla – platí jako přednorma už 6 let.

Část 2: Navrhování na základě laboratorních zkoušek.

Část 3: Navrhování na základě terénních zkoušek.

Části 2 a 3 byly do systému našich norem uvedeny v roce 2000.

Právě seznámení s těmito částmi bylo náplní příspěvků ing. Václava Hořejšího, ing. Vítězslava Herleho, oba SG-Geotechnika, a. s., a ing. Stanislava Recha – Geotech Brno, a. s.

Normy na pojmenování a popis zemin a také hornin jsou zpracovány pod hlavičkou ISO a po definitivních schváleních budou přijaty jako normy CEN.

Příspěvek ing. Petra Nešvary – SG-Geotechnika se zabýval normou ISO 14688 Pojmenování a klasifikace zemin. Normu Klasifikace a popis skalních hornin ISO/CD 14689 rozebral ve svém příspěvku ing. Vladislav Horák, CSc., z VUT Brno. Tato norma je velmi kvalitní pomůckou pro jednotný postup pojmenování a popis hornin v základní oblasti průzkumu i horninového inženýrství. Zavádí nový odlišný přístup k popisu zvětrávání a alterace, stálosti ve vodě a také nové rozdělení hornin podle pevnosti.

Součástí semináře byl příspěvek dr. Václava Hušnera – Arenal, s. r. o., Těžitelnost a rozpojitelnost hornin. Evropská norma na tuto problematiku neexistuje a ani se nepřipravuje. Ačkoliv zařazení zemin a hornin podle těžitelnosti výrazně ovlivňuje náklady na stavbu, není praxe předepsána v ČSN 733050 jednoznačná a výklad je silně subjektivní a nepostihuje často skutečný stav horninového prostředí. Příspěvek byl zvláště zaměřen na vyjasnění zařazování do tříd R1-R6 u hornin předkvartérního skalního podkladu. Další příspěvek ing. Josefa Libela SG-Geotechnika se zaměřoval na problematiku terénních zkoušek.

Velká účast na semináři konaného v Kulturním domě Eden v Praze-Vršovcích jen dokumentovala zájem geotechnických odborníků o problematiku. Je potěšitelné, že příspěvky i diskuse ukázaly, že technická úroveň našich firem i specialistů drží rovnocenný krok se západoevropskou úrovní a že přechod na normy vytvořené v CEN bude bez větších problémů.

Na únorovém zasedání sekce, které se konalo u Amberg Engineering Brno, byl především projednán plán činnosti pro rok 2001. Z důležitých bodů byla zdůrazněna:

Spolupráce členů na projektu MDS 803/110/105 Analýza a řízení rizik v tunelech pozemních komunikací;

- Spolupráce s komisí C5 AICPR, kde delegátem byl jmenován ing. Zlámal;
- Spolupráce časopisů Tunel a Silniční obzor;
- Organizace studijní cesty na stavbu tunelového úseku projektu dálnice A 86 v Paříži v roce 2001;
- Revize a doplnění ČSN 737507 a TPMD pro zřizování technologického vybavení tunelů pozemních komunikací.

Dále byla předána informace o činnosti České silniční společnosti v roce 2001.

26. 4. sjezd České silniční společnosti,

3. – 4. 5. zasedání skupiny C 09 AICPR,

22. – 24. 5. Road Ware Praha,

31. 5. – 1. 6. Konference ITS 01 Praha,

18. – 19. 6. Dopravní inženýrské dny Valtice,

11. – 12. 9. Majetkoprávní vztahy v silniční dopravě Znojmo,

16. – 17. 10. Silniční konference Olomouc,

27. – 28. 11. Asfaltbetonové vozovky České Budějovice.

COLLOQUIUM: SOIL AND ROCK CLASSIFICATION

DESIGN OF GEOTECHNICAL STRUCTURES BASED ON LABORATORY AND FIELD TESTING

The Czech Road Association, in collaboration with SG-Geotechnika a.s. and the Czech Association of Engineering Geologists held a colloquium on 28.2.2001 to inform on new European geotechnical standards.

The colloquium was intended for designers, developers, contractors, engineering geologists and geotechnicians above all. The primary objective was to inform on two new standards developed in the framework of the CEN, which have already been incorporated into the standardisation system, and, at the same time, to inform on the preparation of ISO standards to be incorporated into the CEN standards system, which is under way now.

The CEN, European committee for innovation, associates 18 countries of Western Europe and the CR. Standards are developed by working groups (WG) there. First they are circulated as preliminary standards under Czech denomination CSN P ENV. Geotechnical issues are the topic of the technical committee TC 250, which developed the Eurocode 7, marked in the CR as CSN P ENV 1997: Design of Geotechnical Structures. It contains:

Part 1: General rules – it has been valid for 6 years as a preliminary standard.

Part 2: Designing on the basis of laboratory testing.

Part 3: Designing on the basis of field-testing.

The parts 2 and 3 were incorporated into the system of our standards in the year 2000. Information on those parts was the topic of the papers read by Eng. Václav Hořejší, Eng. Vítězslav Herle, employees of SG-Geotechnika a.s., and Eng. Stanislav Rech, Geotech Brno a.s.

Standards containing nomenclature and description of soils and rocks have been developed under the ISO marking, and will be adopted as CEN standards after they are finally approved.

The paper by Eng. Petr Nešvara, SG-Geotechnika, addresses the ISO 14688 standard: Nomenclature and Classification of Soils. The ISO/CD 14689 standard: Classification and Description of Rocks was analysed in the paper by Eng. Vladislav Horák, CSc, VUT Brno. This standard is a very good tool for a unified process of denomination and description of rocks within the basic field of investigation and rock engineering. It introduces a new, different attitude towards the description of weathering and alteration, fastness to water, and also a new classification of rocks according to the strength.

Another part of the colloquium was the paper by Dr. Václav Hušner, Arenal s.r.o.: Workability and Breaking Characteristic of Rocks. No European standard on this topic either exists or is under preparation. Despite the fact that the classification of soils and rocks according to workability influences a construction cost significantly, this practice is not prescribed in the ČSN 73 3050 explicitly, and the interpretation is strongly subjective and frequently does not represent the real condition of the rock environment. The paper was especially focused on explanation of classification into classes R1-R6 for rocks of the Pre-Quaternary period rock substratum. Another paper by Eng. Josef Libel, SG-Geotechnika, was aimed on explanation of the issue of field testing.

The great attendance at the colloquium held in the Community Centre Eden in Prague-Vrsovice documented the interest of geotechnical professionals in this issue. It is heart-warming that the papers and discussion showed that the technical level of our companies and professionals keeps up with the level of Western Europe, and that the transition to the standards developed in the CEN will encounter no significant problems.

The most significant issue negotiated in the February meeting of the section held in Amberg Engineering Brno was the activity plan for the year 2001. Among important items following items were emphasised:

- Co-operation of the members on the project MDS 803/110/105: Risk analysis and management in road tunnels;
- Co-operation with the C5 AICPR committee, for which Mr. Zlámal was nominated as a delegate;
- Co-operation between the Tunel and Silniční Obzor magazines;
- Organisation of an educational journey to the construction site of a tunnelled section of the A 86 highway project in Paris in 2001;
- Update and addition to the ČSN 73 7507 standard and the TPMD for installation of technological equipment in road tunnels.

In addition, an information on activities of the Czech Road Association in the year 2001 was provided:

26. 4. 2001 - 4th Congress of the Czech Road Association,

3. and 4. 5. 2001 - the session of the C 09 AICPR group,

22. 5 - 24. 5. 2001 - the Roadware 01 international road fair in Prague,

31. 5. - 1. 6. 2001 - the ITS 01 Conference in Prague,

18. 5 - 19. 6. 2001 - Traffic Engineering Days in Valtice,

V závěru jednání byla podána zpráva o stavu přípravy výstavby MO Brno tunel Dobrovského a zahajování staveb dálniční sítě v ČR v roce 2001.
Exkurze byla věnována spolupráci středisek řízení dopravy zejména tunelových částí mezi Policií ČR města Brno a a. s. Brněnské komunikace.

Ing. Petr Vozarik

11. 9 - 12. 9. 2001 - Right in property in the field of road traffic, Znojmo,
16. - 17. 10. 2001 - the Road Conference in Olomouc,
27. - 28. 11. 2001 - Asphaltic concrete road pavement, České Budějovice.
At the conclusion of the meeting, there was presented a report on the state of preparation of the Dobrovského tunnel on the city ring road in Brno and on commencement of the construction work on the Czech highway network projects in 2001.
The excursion was dedicated to the issue of co-operation of traffic control centres between the Police of the CR and Brněnské komunikace a.s. (Brno roads co.).

KALENDARIUM ITA/AITES

CALENDAR OF ITA/AITES

10. - 13. 6. 2001

Milano, Italie, ITA/AITES World Tunnel Congress "Progress in Tunnelling after 2000"
Fax: +39 02 48008471, e-mail: aites-ita2001@mgr.it - www.aites-ita-congress2001

11. - 13. 6. 2001

San Diego, CA, USA, 2001 Rapid Excavation and Tunneling Conference and Exhibit Fax: +303 973 9550, e-mail: meetings@smenet.org

14. - 15. 6. 2001

Paříž, Francie, 1st World Conference on Urban Road Tunnels
Fax: +33 1 44641516, e-mail: p.fournier@colloquium.fr - www.irfparis2001.com

25. - 27. 6. 2001

Singapore, Fire Safety for Structures Trade Show
Fax: +44 1234 841375, www.itc-conferences.com

27. - 31. 8. 2001

Istanbul, Turecko, 15. Mezinárodní konference mechaniky zemin a geotechnického inženýrství / International Conference on Geomechanics and Geotechnical Engineering

7. - 15. 9. 2001

Praha, Czech Republic, NO - DIG 2001, 19. Mezinárodní konference a výstava / International conference and exhibition
Fax: +420 2 84001448, e-mail: nodig2001@guarant.cz - www.nodig2001.cz

11. 9. 2001

Ostrava, Czech Republic, Mezinárodní konference Stavební likvidace dolů / International Conference "Liquidation of mines by building methods", VŠB, katedra geotechniky a podzemního stavitelství

18. - 19. 9. 2001

Bratislava, Slovakia, Optimalizácia geotechnických konštrukcií, 5. Mezinárodní vědecká geotechnická konference / International Scientific Geotechnical Conference, STU, Stavebná fakulta

18. - 20. 9. 2001

Londýn, GB, Underground Construction 2001, Symposium and Exhibition
Fax: +44 20 7233 5054, www.brintex.com

7. - 9. 10. 2001

Prievidza, Slovakia, konference Podzemné staviteľníctvo Prievidza 2001 / Conference Underground Construction Prievidza 2001
www.sendai.kopas.co.jp/JGS/E/events.html
Fax: +421 862 5422983

16. - 18. 10. 2001

Ustroń, Polsko, Geotechnika 2001, 6. Mezinárodní konference / Geotechnics 2001, International Conference

22. - 25. 10. 2001

Washington, USA, Tunnel Fires, Third International Conference
Fax: +44 1234 841375, www.itc-conferences.com

30. 10. - 1. 11. 2001

Kyoto, Japan, Modern Tunneling Science and Technology, international conference
Fax: +81 75 753 5104, e-mail: kimura@toshi.kuciv.kyoto-u.ac.jp

5. - 6. 11. 2001

Brno, Czech Republic, konference Zakládání staveb 2001 / Conference Foundation Engineering 2001

21. - 23. 11. 2001

Singapore, 4th Asia - Pacific Conference on Shock and Impact Loads on Structures
Fax: (065) 2353530, e-mail: cipremie@singnet.com.sg - www.cipremier.com

4. - 6. 12. 2001

Basel, Switzerland, Tunnel Management systems, International Conference
Fax: +44 1234 841375, www.itc-conferences.com

5. - 7. 12. 2001

Basel, Switzerland, The 5th International Tunnelling Exhibition "Intertunnel 2001"
Fax: +44 1707 278201, e-mail: info@intertunnel2001.com

2. - 8. 3. 2002

Sydney, Australia, 28th ITA General Assembly and World Tunnel Congress "AITES - ITA DOWNUNDER 2002"
Fax: 61 2 9262 3135, e-mail: ita2002@tourhosts.com.au

7. - 8. 3. 2002

Zurich, Switzerland, Soil Structure Interaction in Urban Civil Engineering, 2nd International Conference "Planning and Engineering for the Cities of Tomorrow"
Fax: +41 1 6331079, e-mail: dekanovsky@igt.baug.ethz.ch

18. - 22. 5. 2002

Seattle, Wa, USA, North American Tunneling 2002, Conference with 3 tracks
Fax: 206 343 7481, e-mail: underground@auca.org

11. - 12. 7. 2002

Singapore, Landslides, Slope Stability and the Safety of Infrastructures, International Conference
Fax: (065) 2353530, e-mail: cipremie@singnet.com - www.cipremier.com

16. - 20. 9. 2002

Durban, South Africa, 9th Congress of the International Association of Engineering Geology and the Environment
Website: http://home.geoscience.org.za/saieg/2002.htm

24. - 27. 9. 2002

New Delhi, India, ISRM India Symposium "Advancing Rock Mechanics Frontiers to Meet the Challenges of 21st Century"
Fax: +91 11 611 6347, e-mail: cbip@nda.vsnl.net.in - www.cbip.org

21. - 23. 10. 2002

Toulouse, France, Les souterrains: Des ouvrages qui vivent / Underground Works: Living Structures, International Conference
Fax: +44 153420820, e-mail: contact@aftes.asso.fr - www.aftes.asso.fr

17. - 20. 11. 2002

Tokyo - Shonan Village, Japan, Shotcrete for Underground Support IX "SUS - 9"
Fax: +81 3 3553 6145, e-mail: jta@sepia.ocn.ne.jp

12. - 17. 4. 2003

Amsterdam, The Netherlands, ITA World Tunnelling Congress 2003 "(Re)Claiming the Underground Space"
Fax: +31 182 537510, e-mail: info@wtc2003.nl - www.wtc2003.nl

Případně další informace: Sekretariát ČTuK
For further information: Secretariat CTuK
Ing. Karel Matzner



PROVÁDÍME

stavební práce povrchové, podpovrchové i důlní
výstavba, rekonstrukce, demolice

VYRÁBÍME

svařované sítě, mobilní oplocení, betonové prvky

další informace: www.vokd.cz

- výstavba tunelů a větracích šachtic (ČR, SRN, Španělsko)
- výstavba kolektorů (Referenční list Magistrátu Města Ostravy za kolektor pod ulicí Poděbradovou)
- hloubení zásobníků, rekonstrukce šachet, ražba velkoprostorových děl
- široké spektrum povrchových staveb

VOKD, akciová společnost, Nákladní 1, 702 00 Ostrava;
Tel. 069-6699 111; Fax: 069-611 81 20; e-mail - sprava@vokd.cz



BERATENDE
INGENIEURE
CONSULTING
ENGINEERS
INGENIEURS
CONSEILS



ILF Consulting Engineers is an internationally active engineering firm with 450 employees and offices worldwide. ILF offers complete engineering services and its main field of activities include:

- Tunnels and Underground Structures
- Rock and Soil Mechanics
- Geotechnical Engineering
- Transportation and Communications
- Structural Engineering
- Urban and Regional Development Planning
- Cleanup of Contaminated Sites, Landfills
- Water Transport and Pipelines
- Water Resources and Environmental Services
- Hydraulic and Hydroelectric Engineering
- Geodetic surveys and GIS

ILF is a completely independent organization with over 30 years of engineering expertise.

ILF's special interest is to design and implement complex projects, requiring a well organized co-operation between the different fields of activities.

ILF has a well proven Quality Management System and is fully certified with ISO 9001.

ILF Consulting Engineers, s.r.o.
Jirsíkova 5
CZ-186 00 Prague 8
Tel.: ++420/2/810 15 111
Fax: ++420/2/810 15 605
E-mail: info@praha.ilf.com

ILF Beratende Ingenieure ZT GmbH
Framsweg 16
A - 6020 Innsbruck
Tel.: ++43/512/24 12-0
Fax: ++43/512/26 78 28
E-mail: info@ibk.ilf.com

Ingenieurgesellschaft Lässer-Feizlmayr
Arabellastrasse 21
D-81925 München
Tel.: ++49/89/928 008-0
Fax: ++49/89/928 008-30
E-mail: info@muc.ilf.com

ILF Consulting Engineers je inženýrská organizace s mezinárodní působností s více než 450 zaměstnanci a kanceláři po celém světě. ILF nabízí úplné inženýrské služby a její hlavní pole činností zahrnuje:

- Tunely a podzemní stavby
- Mechanika hornin a mechanika zemin
- Geotechnika a inženýrská geologie
- Dopravní stavby
- Inženýrské stavby
- Územní plánování
- Dekontaminace zamořených území, rekultivace
- Vodovody a ostatní produktovody
- Služby v oblasti vodních zdrojů a přírodního prostředí
- Vodní stavby a hydroelektrárny
- Geodézie a GIS

ILF je zcela nezávislá organizace s více než 30 lety inženýrských zkušeností.

ILF se zaměřuje na projektování a realizaci komplexních projektů, které vyžadují dobře organizovanou spolupráci mezi různými obory činností.

ILF pracuje v rámci prověřeného systému řízení jakosti ISO 9001.

Homepage: www.ilf.com

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

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

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

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

ANGERMEIER ENGINEERS, s.r.o.
Pilovská 216
190 16 Praha 9

AQUATIS, a.s.
Botanická 56
602 00 Brno

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

ČERMÁK A HRACHOVEC, a.s.
Smíchovská 31
155 00 Praha 5 - Řeporyje

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

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

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.
U Stanice 11
162 00 Praha 6

**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 PAKOV, a.s.
739 21 Paskov

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

PŮDIS, 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

**VODNÍ STAVBY, a.s.
v likvidaci**
Dobronická 1256
148 25 Praha 4

VOKD, a.s.
Českoobrská 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

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.
Bytčická 16
010 01 Žilina

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

KŘIŽÍK, 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

**SLOVENSÁ BANICKÁ
SPOLOČNOSŤ**
ul. 9. mája č. 2
974 01 Banská Bystrica

SLOVENSÁ SPRÁVA CIEST
Miletičova 19
820 09 Bratislava

SLOVENSKE 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, s.r.o.**
Radlinského 11
813 68 Bratislava

ŠPECIÁLNE ČINNOSTI
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
Hlínská 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

SUBTERRA

ENGINEERING AND CIVIL STRUCTURES

Company SUBTERRA ranks among the most important Czech construction companies. During 36 years of its existence it has become an indispensable and reliable subject on the construction market in all branches of underground and surface civil engineering.

UNDERGROUND AND SURFACE STRUCTURES

engineering, transport, industrial, water management, civil and environmental structures

- construction of collector networks
- transport tunnels (railway tunnels and road tunnels of a highway type in particular), purpose-made tunnels
- construction and modernization of railway tracks
- construction of Metro lines
- large capacity underground structures (car parks, underground power plants, underground waste water treatment plants in particular)
- mine construction and opening
 - apartment sets, administration buildings
 - reconstruction and modernization of historic monuments

FOREIGN EXPERIENCE

- Germany - construction of road and railway tunnels, apartment and civil buildings
- Spain - mine construction and opening

QUALITY ASSURANCE

- Certificate for engineering and supplying activities to ČSN EN ISO 9001 standard
- Certificate for underground activities to ČSN EN ISO 9002 standard
- Certificate for construction works in roads and tunnels to ČSN IN ISO 9002 standard
- Product certificates - concretes, steel structures, gamma plaster

SERVICE ACTIVITIES

- project management
- designing
- accredited laboratory

SUBTERRA a.s.

Bezová 1658, 147 14 Prague 4

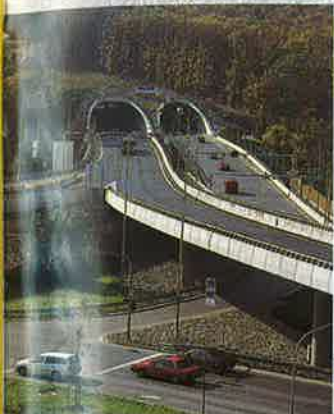
Czech Republic

Tel.: +420.2.4406 1111, Fax: +420.2.4446 6179

E-mail: info@subterra.cz

<http://www.subterra.cz>

WE OPEN A NEW SPACE



Tunnel LINING Systems

GLASAL, high quality tunnel lining

TUNNEL LINING : REDUCING OPERATIONAL COSTS

ETERNIT BELGIUM has been the foremost international specialist in tunnel lining (square or circular tunnel sections) for the last **25 years**.

Millions of road users currently enjoy the comfort and safety of GLASAL tunnels **all over the world***.

GLASAL offers advantages to tunnel constructors , operators and users by combining the **unique characteristics** needed for such heavy duty application :

- **Hard, smooth surface** allowing mechanical and high-pressure washing.
- Excellent optical properties offering **perfect diffusion of light** (no dazzle, no glare)
- Easy installation, easy maintenance , **low operation cost**
- Totally **non-corrosive** composition
- Totally **non-combustible** material
- **Non-toxicity** in the event of fire



Tunnel "CHONGQING", China



- EASY :** installation
maintenance
- SAFE :** guidance for drivers
brightness
non -combustible
- DURABLE :** non-rotting
humidity resistant
excellent lifetime
frost resistant
resistance to dynamic forces
hard surface (enameled)
color stability
- ATTRACTIVE:** architectural design
valuable
esthetical

GLASAL an economical solution : *fair purchasing price for a high quality lining that reduces the tunnel exploitation costs.*

GLASAL an ISO 14001 manufactured product.

* reference list available upon request